

Ereignisbasierte Abbildung von Bau-Ist-Zuständen

Vorwort des Herausgebers

Die vorliegende Dissertation befasst sich mit einem der immer noch aktuellsten Probleme der Bauwirtschaft, mit der Erfassung der Bau-Ist-Zustände von laufenden Baustellen. Zahlreiche Bauprojekte, bei denen Zeit oder Kosten aus dem Lot geraten sind, machen uns immer wieder bewusst, dass wir nicht rechtzeitig Kenntnis haben von den tatsächlichen Abläufen auf der Baustelle und dass wir die eigentlichen Problembereiche zu spät identifizieren. Dieses gilt gleichermaßen für Auftraggeber, die vermeintlich verlässlichen Baufortschrittsberichten glauben, wie auch für Auftragnehmer, denen die Kosten davonlaufen, wenn die Baustelle trotz hohen Personaleinsatzes keinen rechten Leistungsfortschritt erzielt.

Es hat in der Vergangenheit bereits viele Ansätze gegeben, um den Baustellenfortschritt durch verschiedene Werkzeuge besser und schneller zu erfassen und in der betriebsinternen EDV zu verarbeiten. Dazu eignen sich händische Berichte, semi-automatische Reporte und vollautomatische Erfassungssystemen. Gleichzeitig fallen auf jeder Baustelle bereits heute große Mengen unterschiedlicher Informationen an, wie z. B. die Lieferscheine von Lieferanten, das Betoniertagebuch, die BAS-Stundenzettel zur Lohnabrechnung oder die Qualitätsinspektion durch einen Bauüberwacher.

Frau Ailland hat alle diese Informationsquellen im Hinblick auf ihre Eignung untersucht, in wie weit aus ihnen allein oder zusammen vollständige Rückschlüsse auf den tatsächlichen Bau-Ist-Zustand möglich sind. Erst bei Vorliegen des vollständigen Bildes einer Ist-Situation an einem bestimmten aktuellen Tag kann die darauf aufsetzende Arbeitsvorbereitung für die nächsten Prozessschritte verwendbare und verlässliche Ergebnisse liefern.

Eine weitere wichtige Erkenntnis der Arbeit ist, dass jegliche Bestimmung des Bau-Ist-Zustands nahezu nutzlos wird, wenn nicht eine sorgfältige und detaillierte Arbeitsplanung im Vorwege die entsprechenden Soll-Zustände bestimmt hat. Hier war es im Rahmen der Arbeit erforderlich, die betrachteten Arbeitsprozesse des Brückenbaus, die einem erfahrenen Bauleiter meistens nur informell geläufig sind, zunächst in detaillierten Arbeitsschritten zu erfassen und entsprechende Workflow-Diagramme aufzustellen. Erst danach konnten die Bau-Ist-Aufnahmen hiermit verglichen werden.

Ich danke Frau Ailland dafür, dass sie sich dieses aktuellen und sehr komplexen Themas durch ihre Dissertation angenommen hat und dass sie hierbei in gleicher Weise theoretische Bezüge entwickelt wie auch praktische Projekte analysiert hat.

Ich hoffe, dass die Arbeit der Fachwelt in Wissenschaft und Praxis gleichermaßen viele gute Anregungen liefert, damit die Erfassung und Einschätzung aktueller Bau-Ist-Zustände verbessert werden und letztendlich die Steuerung von Baustellen auf ein besseres Niveau gehoben werden kann.

Weimar, im August 2013

Professor Dr.-Ing. Hans-Joachim Bargstädt
Leiter der Professur Baubetrieb und Bauverfahren
Bauhaus-Universität Weimar

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	IV
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung und Ziel	2
1.2 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit	5
1.3 Stand der Forschung	7
1.4 Forschungsbedarf und Abgrenzung der Arbeit.....	16
1.5 Grundlagen	17
1.6 Definition der Modellparameter	21
2 Modellbildung.....	25
2.1 Brückenkappen	26
2.2 Prozessidentifikation	27
2.2.1 Hörseltalbrücke	28
2.2.2 Böbertalbrücke	29
2.2.3 Ilmtalbrücke	29
2.2.4 Bauprozess Brückenkappen	30
2.3 Ableitung der Erfassungsgrößen zur Bau-Ist-Bestimmung	32
2.3.1 Technologische Abhängigkeiten	32
2.3.2 Constraint Personalressourcen	34
2.3.3 Constraint Geräteressourcen	35
2.3.4 Constraint Materialressourcen	36
2.3.5 Wetter	37
3 Informationsstützstellen.....	39
3.1 Prozessstrukturierung	39
3.1.1 Gliederung in Teil- und Hauptprozesse	40
3.1.2 Bautechnologische Strukturierung	43
3.1.3 Taggenaue Erfassung	48

3.2	Beschreibung der zu erfassenden Daten	50
3.2.1	Vorgänge	52
3.2.2	Personalressourcen	60
3.2.3	Geräteressourcen	61
3.2.4	Materialressourcen	63
4	Datenerfassung	67
4.1	Baustellendokumentation als Informationsquelle	68
4.1.1	Vertragsbedingungen	69
4.1.2	Normen	70
4.1.3	Firmeninternes Berichtswesen	71
4.1.4	Aussagekraft des Bautagebuches	72
4.1.5	Zusammenfassung Baustellendokumentation	74
4.2	Erfassungsmethoden	75
4.2.1	Radio Frecency Identification	77
4.2.2	Barcode	77
4.2.3	Bautagebuch und Berichtswesen	78
4.3	Exemplarische Erfassung von Ist-Daten	79
4.3.1	Erfassung von Vorgängen	79
4.3.2	Erfassung von Personalressourcen	81
4.3.3	Erfassung von Geräteressourcen	82
4.3.4	Erfassung von Materialressourcen	83
4.3.5	Vergleich der Erfassungsmethoden	84
5	Entwicklung Erfassungskonzept	87
5.1	Vorgänge und Ereignisse	87
5.2	Ressourcen	95
5.2.1	Personalressourcen	96
5.2.2	Geräteressourcen	97
5.2.3	Materialressourcen	98
5.3	Minderung des Erfassungsaufwandes	99

5.4	Gesamtkonzept	100
6	Verallgemeinerung der Ergebnisse	103
6.1	Umsetzung des Konzeptes	103
6.1.1	Beispiel Ärztehaus	103
6.1.2	Beispiel Wohnhaus	114
6.2	Erkenntnisse	119
6.2.1	Bau-Ist-Erfassung	121
6.2.2	Bauablaufplanung	122
6.3	Fazit	124
7	Zusammenfassung und Ausblick	125
7.1	Zusammenfassung	125
7.2	Ausblick	127
	Literaturverzeichnis	129
	Abbildungsverzeichnis	139
	Tabellenverzeichnis	141
	Glossar	143
	Anhang 1 - Dokumentation Bauablauf Hörseltalbrücke	145
	Anhang 2 - EPK	171
	Anhang 3 - Prozessübersicht	193
	Anhang 4 - Formblätter ZTV-Ing	205

Abkürzungsverzeichnis

A	Vorgänge (in Anlehnung an die englische Sprache A wie activity)
AK	Außenkappe
ARGE	Arbeitsgemeinschaft
AT	Arbeitstag
ATV	Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen
BAB	Bundesautobahn
BIM	Bauwerksinformationsmodell (engl.: Building Information Model)
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
CIMS	Construction Information Management System
d. h.	das heißt
E	Ereignis
EG	Erdgeschoss
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
et al.	et alii (dt. : und andere)
fml	Fördertechnik Materialfluss Logistik
ggf.	gegebenenfalls
GPS	Global Positioning System (dt.: globales Positionsbestimmungssystem)
h	Stunde
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
HP	Hauptprozess
Hrsg.	Herausgeber
i. A.	im Allgemeinen
ID	Identifikation/Identifikator
IK	Innenkappe

inkl.	inklusive
kg	Kilogramm
km	Kilometer
kN	Kilonewton
KSW	Kappenschalwagen
LKW	Lastkraftwagen
NFC	Near Field Communication (dt.: Nahfeld-Kommunikation)
m	Meter
mm	Millimeter
OG	Obergeschoss
PDM	Produktdatenmanagement
PMS	Projektmanagementsystem
PPP	Public-Private-Partnership
RFID	Radio Frequency Identification (dt.: Identifikation durch elektromagnetische Wellen)
RG	Geräteressourcen
RM	Materialressourcen
RP	Personalressourcen
TP	Teilprozess
u. a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
z. B.	zum Beispiel
ZVT	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen
ZTV-ING	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieur-

1 Einleitung

Die Baubranche ist ein Industriezweig mit vielen Freiheitsgraden. Im Gegensatz zu anderen Industriezweigen steht sie immer wieder vor der Herausforderung, Einzelstücke zu produzieren, die hinsichtlich Bauart, Größe, Funktion, Material und vielen anderen Eigenschaften variieren bzw. neu kombiniert werden. Darüber hinaus ändern sich mit jedem Einzelstück die Produktionsbedingungen nicht nur räumlich, sondern auch im Hinblick auf die Ausführenden. Während in einer Fabrik im Idealfall immer die gleichen Tätigkeiten und Personen den Produktionsprozess begleiten und durchführen, wechselt in der Bauindustrie mit nahezu jedem Projekt die Konstellation der beteiligten Baufirmen bzw. Subunternehmen. Überdies ist der Produktionsprozess sehr komplex. Eine Vielzahl von Einzelprozessen läuft parallel ab, bedingt einander oder greift ineinander. Diese Problemstellung stellt hohe Anforderungen an die Bauablaufplanung und schränkt die Möglichkeiten der Bauleitung stark ein, auf Basis von Routinen zu agieren und abgesicherte Entscheidungen zu treffen.

Mit Hilfe der Ablaufplanung werden Vorgängen Ressourcen zeitlich zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt unter Berücksichtigung notwendiger oder erwünschter Bedingungen (vgl. [77]). Das Ziel der Ablaufplanung ist die erfolgreiche und kostengünstige Durchführung der Bauaufgabe. Das ist nur möglich, wenn Ressourcen wie Material, Maschinen und Personal der ausführenden Baufirmen zur richtigen Zeit, in der notwendigen Menge und Qualität, am richtigen Ort sowie bei optimiertem Aufwand zur Verfügung stehen [5].

Die Ablaufplanung ist Teil der Arbeitsvorbereitung. Sie wird vor Baubeginn vorgenommen und in der Ausführungsphase nur noch selten aktualisiert. Die Praxis zeigt jedoch, dass der Bauablauf häufig durch unvorhergesehene Situationen wie bspw. Lieferschwierigkeiten gestört wird und nicht wie geplant ausgeführt werden kann. Insofern ist gerade die Aktualisierung der Ablaufplanung von besonderer Bedeutung. SAUER untermauert die Aussage wie folgt: „Wichtigstes Charakteristikum realer Planungsszenarien ist die Dynamik der Planungsumgebung ...“ [77].

Aufgrund der komplizierten Ausgangslage ist ein effektives Baustellencontrolling in der Ausführungsphase von grundlegender Bedeutung, um Fehlentwicklungen frühzeitig erkennen zu können. Besonders schwierig ist die Abschätzung der langfristigen Konsequenzen, die sich aus Bauablaufstörungen sowie Steuerungsmaßnahmen ergeben können.

GIRMSCHIED charakterisiert die Anforderungen an das Controlling wie folgt: „Durch das Baustellencontrolling soll eine wirtschaftlich optimale Bauausführung unterstützt werden. Die bedeutet im Einzelnen:

- Kostenreduzierung durch optimalen Bauablauf
- Laufende Überwachung des Baustellenergebnisses
- Frühzeitiges Erkennen von Störungen im Bauprozess
- Einleitung von Gegenmaßnahmen
- Korrektur von Vorgabewerten
- Lieferung von Prognosewerten für das laufende Projekt“ [27].

Die Aufgabe des Baustellen-Controllings ist die Leistungs- und Kostenkontrolle, die sich in folgende Aspekte untergliedern lässt:

- Termin-Soll-Ist-Vergleich,
- Qualitäts-Soll-Ist-Vergleich,
- Kosten-Soll-Ist-Vergleich,
- Budget-Soll-Ist-Vergleich und
- Stunden-Soll-Ist-Vergleich (vgl. [81]).

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Aspekte des Termincontrollings. Dieses basiert auf der Erstellung eines Terminplans, welcher den geplanten Projekt-Ablauf als Soll (Bau-Soll) definiert. Dem gegenüber steht die Projektstandsermittlung, also die Erfassung des tatsächlichen Baufortschrittes (Bau-Ist). Dem Termincontroller obliegt die regelmäßige Gegenüberstellung von Bau-Soll und Bau-Ist, also der Soll-Ist-Vergleich. Er analysiert, wo relevante Differenzen zwischen Soll und Ist vorliegen und legt darauf aufbauend mit der Projektleitung fest, welche Steuerungsmaßnahmen ergriffen werden, um die Abweichungen zu kompensieren. In der Folge wird überprüft, ob die Korrekturmaßnahmen die gewünschten Ergebnisse bringen.

1.1 Problemstellung und Ziel

Der Alltag auf großen Baustellen ist meist durch einen hohen Termindruck geprägt, dem häufig – aufgrund der Komplexität der Aufgaben – ein relativ unpräzises Termincontrolling gegenübersteht. Einem präzisen Termincontrolling stehen zwei Problemfelder entgegen.

Zum einen geben die Informationen, die zur Feststellung des Baufortschrittes genutzt werden und damit die Grundlage für das Termincontrolling bilden, meist nur ein punktuelles Abbild des Baufortschrittes. Nicht selten sind sie zudem durch die subjektive Sicht der erfassenden Personen geprägt. Hinzu kommt, dass die Daten in unterschiedlichen Zeitintervallen und Formaten dokumentiert werden. In der Folge werden die Daten ausgewertet, ohne durch ihre Verknüpfung ein Gesamtbild zu schaffen. Somit wird ihr maximaler Informationsgehalt nicht ausgeschöpft. Die Konsequenz ist, dass dem Bauleiter kein umfassendes Abbild des aktuellen Baufortschrittes zur Verfügung steht und die Kontrollmechanismen mit zu großen zeitlichen Intervallen arbeiten. Infolgedessen wird häufig zu spät erkannt, dass die Realität vom Terminplan abweicht und die Baumaßnahme in einen uneinholbaren Zeitverzug gerät, obwohl bei einer rechtzeitigen Reaktion der Terminverzug durch einfache und kostengünstige Maßnahmen hätte reduziert werden können.

Zum anderen ist auch die Wahl einer geeigneten Steuerungsmaßnahme von der Erfahrung bzw. der Kompetenz der Bauleitung abhängig. Wenn eine relevante Terminverzögerung auftritt, können verschiedene Maßnahmen ergriffen werden. Diese haben in der Regel komplexe Auswirkungen auf den Ressourceneinsatz, die Kosten und die Aussteuerung des weiteren Bauablaufes. In der Baupraxis wird die Auswahl des Steuerungsinstrumentes häufig aus der Erfahrung getroffen, ohne sie zu verifizieren.

Ein probates Mittel zur Abbildung eines Bauablaufes unter Berücksichtigung von Randbedingungen ist die ereignisorientierte Prozesssimulation. Diese wird in der stationären Industrie bereits als Planungsinstrument eingesetzt. In den letzten Jahren konzentriert sich auch die Forschung im Bauwesen auf die Nutzung dieses Werkzeuges. Vorhandene Konzepte wurden gemäß den Anforderungen des Bauwesens adaptiert und erfolgreich erweitert.

Um den komplexen Anforderungen eines Baustellencontrollings gerecht zu werden, können in der Bauablaufplanung moderne Simulationswerkzeuge zur Abschätzung langfristiger Konsequenzen und Absicherung der Planung mit zunehmendem Erfolg eingesetzt werden. BORRMANN und SCHORR beschreiben die Prozesssimulation als Technik, welche es ermöglicht, den Bauablauf virtuell durchzuspielen, die Schwachstellen zu erkennen, den Einsatz der Ressourcen anzupassen und den Bauablauf zu optimieren [8].

Die ereignisorientierte Simulation wird genutzt, um gültige Lösungen zu ermitteln. Das Ziel des Einsatzes von Simulationswerkzeugen ist die Ermittlung eines Bauablaufes, welcher unter definierten Randbedingungen einem Optimum möglichst nahekommt. In diesem Zusammenhang ist Simulation durch die VDI 3633 definiert als „Nachbildung eines dynamischen Prozesses in einem Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind“ [89]. FRANZ ergänzt: „Dabei dient die Simulation der Überprüfung des dynamischen Systemverhaltens durch Experimentieren am Modell unter Einbeziehung aller relevanten Faktoren und des zeitlichen Ablaufes. Die Experimente am Simulationsmodell haben

dabei den Zweck, vor Beginn der Realisierung alle denkbaren Möglichkeiten und Auswirkungen so durchzuspielen, daß dabei die besten Lösungen und Verfahrensweisen gefunden werden“ [23].

Zum jetzigen Zeitpunkt werden Simulationswerkzeuge primär in der Phase der Projektvorbereitung zur Planung von Bau- und Logistikprozessen genutzt. Das steht im Kontrast zur Baustellenrealität. Baustellen unterliegen einer Vielzahl von unvorhergesehenen Änderungen, Bauablaufstörungen und geänderten Randbedingungen, welche die Bauleitung zwingen, von dem geplanten Bauablauf abzuweichen und Steuerungsmaßnahmen zu ergreifen.

Um der Problemstellung gerecht zu werden, soll das Nutzungspotential von Simulationswerkzeugen von der Planungsphase auf die Ausführungsphase erweitert werden. Zu diesem Zweck muss ein Simulationsmodell den Baufortschritt abbilden. Weiterhin müssen die aktuellen Randbedingungen, wie bspw. der zu diesem Zeitpunkt verfügbare Bestand an Ressourcen, im Modell hinterlegt sein. Um in einem Simulationsmodell den Baufortschritt sowie die Randbedingungen berücksichtigen zu können, muss eine Datenbasis geschaffen werden, welche in definierten Zeitintervallen den aktuellen Baufortschritt sowie die Randbedingungen des Bauablaufes bereitstellt.

Um das Termincontrolling zu verbessern, will die vorliegende Arbeit an den zuvor beschriebenen Problemfeldern ansetzen. In Zukunft soll ein Simulationsmodell über die Arbeitsvorbereitung hinaus auch zur Kontrolle und Steuerung des Bauablaufes in der Ausführungsphase eingesetzt werden. Die Arbeit greift dieses Forschungsdefizit auf und leistet damit einen Beitrag zur besseren Integration von Simulationswerkzeugen in die Baupraxis.

Ziel der Arbeit ist, ein Erfassungskonzept zu entwickeln und aufzuzeigen, wie man den Kenntnisstand über die realen Zustände eines im Bau befindlichen Projektes so genau erfassen kann, dass es möglich wird, täglich ein zutreffendes Abbild des Baufortschrittes und der Randbedingungen des Bauablaufes zu schaffen und mit Hilfe eines Simulationswerkzeuges nachzubilden. Zu diesem Zweck soll ein Erfassungskonzept ausgearbeitet werden, mit dessen Hilfe unter Verwendung von Erfassungstechniken aussagekräftige sowie belastbare Daten zu einer auf die Anforderungen der Simulation abgestimmten Datenbasis zusammengeführt werden.

Mit Hilfe eines täglichen Abbildes des Baufortschrittes sowie der Randbedingungen des Bauablaufes wird ein taggenaues Termincontrolling. Die am Bau Beteiligten können Terminverschiebungen noch am Tag ihrer Entstehung erfassen und darauf reagieren. Anhand des Simulationsmodells können mögliche Steuerungsmaßnahmen ermittelt und ihre Auswirkungen abgebildet werden. Der bestehende Bauablaufplan kann bspw. durch die Harmonisierung von Lieferterminen an die geänderten Randbedingungen angepasst werden. Speziell längerfristige und somit schwer abschätzbare Konsequenzen werden mit Hilfe der Simulati-

on besser kalkulierbar. Alternativ einsetzbare Steuerungsmaßnahmen können getestet, ihre Auswirkungen verglichen und eine Auswahl getroffen werden. Entscheidungen, die bislang aus der Erfahrung des Bauleiters getroffen wurden, können somit verifiziert werden. Letztlich kann durch eine Automatisierung der Bau-Ist-Erfassung der Dokumentationsaufwand für die Bauleitung verringert werden. Die Zuverlässigkeit und Objektivität wird gesteigert.

1.2 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Der Forschungsansatz ist formal in die angewandte Forschung einzuordnen. Die Lösung des aus der Praxis stammenden Problems steht im Vordergrund der Untersuchung (vgl. [26]).

Die Arbeit ist in sieben Kapitel gegliedert, welche zum Teil mit Anhängen ergänzt werden.

Kapitel eins dient der Einführung in das Thema, es beschreibt die Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit sowie die Vorgehensweise. Es gibt einen Überblick über internationale Forschungsarbeiten, welche ebenfalls die Erfassung des aktuellen Baufortschrittes zum Ziel haben. Anhand dieser Darstellung wird der Forschungsbedarf spezifiziert und eine Abgrenzung gegenüber anderen Forschungsarbeiten vorgenommen. Abschließend werden allgemeine Grundlagen vorgestellt. Es wird durch die Festlegung eines Begriffsapparates ein sprachlicher Bezugsrahmen geschaffen.

Kapitel zwei dient der Modellbildung. Es wird der Frage nachgegangen, welche Daten notwendig sind, um den Baufortschritt ausreichend realistisch abzubilden. Dafür ist die genaue Beschreibung des späteren Verwendungszweckes von grundlegender Bedeutung. Dieser lässt sich wie folgt eingrenzen: Es werden Daten benötigt, die den aktuellen Bau-Ist-Zustand soweit signifikant und zeitnah abbilden, dass der weitere Bauablauf mit Hilfe eines Simulationswerkzeuges hinsichtlich der Terminplanung neu berechnet werden kann. Aus der Zielsetzung können die folgenden Anforderungen an das Erfassungskonzept abgeleitet werden.

- Das Konzept muss auf den Informationsbedarf des Simulationsmodells abgestimmt sein.
- Da die Bau-Ist-Daten als Grundlage für eine ereignisorientierte Simulation dienen sollen, müssen sie ereignisorientiert erfasst werden, d. h. Änderungen der Randbedingungen und des Baufortschritts sind anhand von Ereignissen zu erfassen.
- Es wird eine Auswertung der Bau-Ist-Daten in definierten Zeitintervallen angestrebt. Unter dem Aspekt des Termincontrollings setzt sich die Arbeit eine taggenaue Abbildung des Bau-Ist-Zustandes zum Ziel, d. h. am Ende eines Arbeitstages soll der aktuelle Baufortschritt abgebildet werden.
- Es wird ein hoher Automatisierungsgrad hinsichtlich der Datenerfassung angestrebt.
- Auf Baustellen werden bereits viele Vorgänge dokumentiert. Diese Daten sollen soweit wie möglich genutzt und in das Erfassungskonzept integriert werden.

- Um den Erfassungsaufwand so gering wie möglich zu halten, ist der Detaillierungsgrad zu hinterfragen und festzulegen.

Um diese Anforderungen näher zu spezifizieren, ist eine detaillierte Betrachtung des für die Simulation vorgesehenen Bauprozesses notwendig. Dieser muss dazu genau beschrieben werden. Die Beschreibung soll anhand eines Beispielprozesses exemplarisch durchgeführt werden. Die anhand des Beispielprozesses gewonnenen Erkenntnisse sind später zu verallgemeinern. Die entsprechende Auswahl sowie Dokumentation werden beschrieben. Schließlich werden die für die Simulation notwendigen Modellparameter eingeführt und die notwendigen Erfassungsgrößen abgeleitet.

Neben der Erfassung des Prozesses mit all seinen Vorgängen und Randbedingungen müssen Aussagen zur Strukturierung und Detaillierung der Prozessabbildung im Besonderen hinsichtlich der Aspekte „Ereignisorientierung“ und „tägliche Erfassung“ getroffen werden. Schließlich müssen eine Ableitung und eine genaue Beschreibung der zu erfassenden Größen erfolgen, um den Erfassungsbedarf zu spezifizieren. Mit diesem Aspekt beschäftigt sich Kapitel drei; hier wird auf die Abbildung des Bauprozesses gemäß der zuvor bestimmten Modellparameter eingegangen. Es werden Kriterien für die Strukturierung sowie die Detaillierungstiefe der Abbildung des Beispielprozesses erarbeitet und dargelegt sowie die aus der Theorie abgeleiteten Erfassungsgrößen anhand des realen Bauprozesses diskutiert.

In Kapitel vier werden der Bogen zur Datenerfassung geschlagen und die Grundlagen für die technische Umsetzung der Erfassung zusammengestellt. Zuerst wird betrachtet, welche Daten aufgrund der Vorschriftenlage standardmäßig auf Baustellen erfasst werden. Danach widmet sich dieser Teil der Untersuchung der Identifikation von Erfassungsmethoden. Es gibt eine Vielzahl an Erfassungsmethoden, welche vollständig oder auch nur eingeschränkt zur Erfassung des aktuellen Baufortschrittes geeignet sind. Es gilt, solche Methoden zu identifizieren und sie hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeiten und -grenzen zu bewerten. Es werden sowohl tradierte Methoden, wie bspw. Bautagebücher, als auch moderne Methoden, wie z. B. RFID (Radio Frequency Identification) betrachtet. Im Gegensatz zu anderen Forschungsansätzen wird nicht der Einsatz eines einzelnen, sondern vielmehr eine Kombination verschiedener Erfassungsverfahren angestrebt. Insofern sollen die infrage kommenden Erfassungsmethoden auf ihre Eignung geprüft und das Zusammenspiel der ausgewählten Methoden entworfen werden. Dabei werden möglichst viele vorhandene Baustellendaten genutzt. Für die Erfassungsmethoden, welche im Erfassungskonzept Anwendung finden könnten, werden exemplarisch relevante Anwendungen aus Praxis und Forschung vorgestellt.

In Kapitel fünf erfolgt eine Zusammenführung der in Kapitel drei und vier gewonnenen Erkenntnisse. In Kapitel drei ist bereits ein strukturiertes Abbild des Bauablaufes und eine genaue Beschreibung der zu erfassenden Daten entstanden. Es ist also bekannt, welche Informationen zu erfassen sind. Mit Hilfe der Ergebnisse des vierten Kapitels wird das Gerüst nun

mit Daten gefüllt. Hier steht die Frage im Vordergrund, wie die benötigten Daten mit möglichst wenig Aufwand gewonnen werden können. Es wird ein Erfassungskonzept für die tägliche Abbildung des Baufortschrittes entworfen.

Kapitel sechs dient der Validierung und Verallgemeinerung des Erfassungskonzeptes. Das Konzept wird auf ein weiteres Bauteil übertragen und anhand dieses Bauteils auf zwei Baustellen erprobt. Kapitel sieben fasst die Ergebnisse der Arbeit zusammen und schließt mit einem Ausblick ab.

1.3 Stand der Forschung

In diesem Kapitel werden Forschungsarbeiten angesprochen, welche neue Ansätze zur Erfassung des Baufortschrittes zum Inhalt haben.

Arbeiten, die sich ebenfalls mit der Bestimmung des Baufortschrittes beschäftigen, deren Forschungsschwerpunkt jedoch anders gelagert ist, weil sie bspw. einem anderen Fachgebiet entstammen, wurden nicht in die Betrachtungen einbezogen. Solche Projekte findet man u. a. im Vermessungswesen oder der Informatik. Sie beschäftigen sich bspw. mit der Verbesserung der Messtechnik oder der Datenübertragung. Ebenso wurden Projekte, welche mit der Baufortschritterfassung ein anderes Ziel verfolgen, wie z. B. die Dokumentation zum Zwecke der Beweissicherung, in dieser Arbeit nicht dargestellt. Diese Abgrenzung wurde vorgenommen, weil sich aus der Betrachtung dieser Projekte keine Hilfen für die vorliegende Arbeit ergeben.

Die im Folgenden angesprochenen Forschungsarbeiten beschreiben unterschiedliche Erfassungsmethoden, mit deren Hilfe sie den Baufortschritt bestimmen. Im Vorausblick auf Kapitel 4.2 (S. 75), das die verschiedenen Erfassungsmethoden wieder aufgreift, wurde eine Strukturierung der Forschungsarbeiten gemäß der eingesetzten Erfassungsmethoden vorgenommen.

Eine Reihe von Forschern beschäftigt sich mit der Auswertung von Bildaufnahmen, um daraus den geometrischen Baufortschritt zu bestimmen.

In den USA arbeiten PEÑA-MORA et al. an der Auswertung von Baustellenbildern, wie sie typischerweise im Baustellenalltag entstehen. Aus Baustellenbildern, die unsortiert, nicht kalibriert und in unterschiedlicher Belichtungsqualität vorliegen, wird eine Punktwolke generiert. Sie wird mit einem Bauwerksinformationsmodell (BIM) abgeglichen, um die Bauteile zu identifizieren und einen Soll-Ist-Vergleich zu erstellen. Getestet wurde das Verfahren u. a. an Bewehrungsstahl. Der Ansatz dient der Erfassung des geometrisch messbaren Baufortschrittes [64], [28].

MOTZKO et al. haben die Auswertung von Bildinformationen zum Forschungsgegenstand gemacht. HEIM beschäftigte sich mit der zeitnahen Leistungsfeststellung von Baustellen durch Bildinformationssysteme. Ziel ist die automatisierte Bereitstellung von projektspezifischen Informationen mit Hilfe von Bildinformationssystemen [33]. Der Schwerpunkt liegt auf dem Projektcontrolling im Baugeschehen [34], [35].

In Ergänzung dazu arbeitete PFLUG an der Entwicklung eines Bildinformationssystems, das die Verknüpfung von Digitalfotografien mit einem digitalen Bauwerksmodell ermöglicht. Es dient der Dokumentation und Steuerung von Ausführungsprozessen. Das Grundprinzip ist „die Überlagerung einer Digitalfotografie mit der dazugehörigen Szene eines objektorientierten 3D-CAD-Modells sowie die Verknüpfung mit dessen Objekten“ [66].

MAFFINI testete anhand des Projektes „Neue Svinesundbrücke“ in Schweden den „Aufbau eines Informationssystems zur Leistungsfeststellung im Brückenbau“ [60]. Das Informationssystem dient der baubegleitenden Bau-Ist-Erfassung. Es nutzt die Auswertung von Bildern und ein auf die Anforderungen des Erfassungssystems ausgerichtetes Berichtswesen. Durch eine regelmäßige Datenerfassung mit Hilfe von Bildern und Berichten wurde die erbrachte Ist-Leistung, nach einzelnen Bauabschnitten gegliedert, bestimmt.

In Slowenien arbeiten PODBREZNIK et al. mit einer Verknüpfung von Bildinformationen und Vorgängen, um mögliche Abweichungen vom geplanten Bauablauf zu identifizieren. Die Grundlage ist ein 4D-Modell, in dem den einzelnen Bauteilen die notwendigen Vorgänge zugeordnet sind (Abbildung 1). Wenn ein Bauteil anhand von Baustellenbildern identifiziert wird, dann wird die Information mit den geplanten Vorgängen des Bauablaufplanes verknüpft. Auf dieser Basis wird ein Soll-Ist-Vergleich durchgeführt [67], [68], [71], [72].

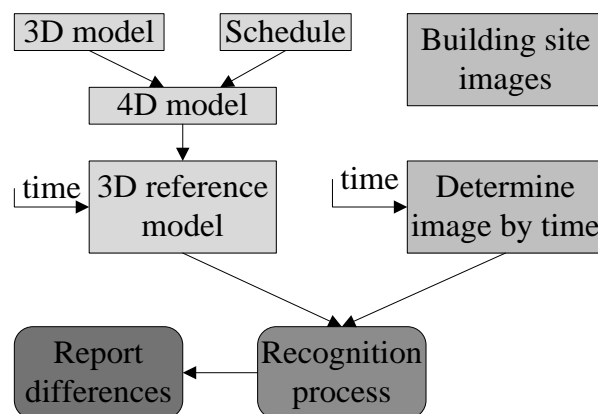


Abbildung 1: Schema für 4D-System [68]

Umfassender ist das „Automated construction activity monitoring system“ [71].

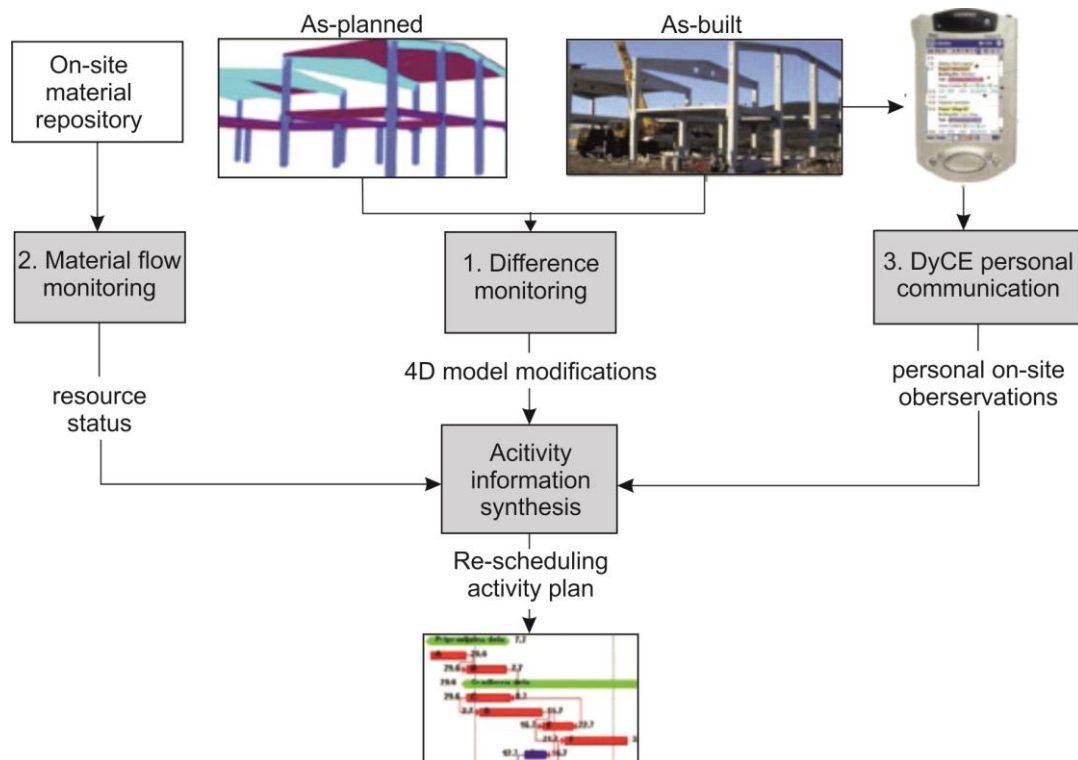


Abbildung 2: Konzeptschema „Automated construction activity monitoring system“ [71]

„This paper presents a combined method, consisting of three components: an automated activity tracking subsystem based on image recognition, an automated material tracking subsystem, and a mobile computing supported communication environment. All subsystems are based on the same 4D model of a building“ [71].

Das System kombiniert drei Informationsquellen und scheint primär für Bauwerke aus vorgefertigten Bauteilen gedacht. Die erste Komponente wertet Bilder aus, vergleicht sie mit einem 3D-Modell und leitet daraus ab, welche Vorgänge bereits ausgeführt wurden und wo Abweichungen auftreten. Komponente zwei verfolgt die Materialbewegungen und weist Bauteilen den Status „geplant“, „in Herstellung“, „im Lager“, „auf der Baustelle“ oder „eingebaut“ zu. Es leitet daraus ab, welche Vorgänge bereits ausgeführt wurden. Die dritte Komponente ist ein Kommunikationssystem, welches seine Informationen durch Beobachtungen des Baustellenpersonals erhält. In diesem System ist für jeden Vorgang Expertenwissen hinterlegt; Probleme werden dokumentiert und Lösungsansätze vorgeschlagen bzw. eingegeben. Die Informationen der drei Komponenten werden in einem 4D-Modell zusammengeführt und dienen dem Baustellencontrolling sowie der Dokumentation. Die Autoren geben an, dass ihr Modell in der Lage ist, die Bildauswertung und Überlagerung in Echtzeit zu leisten. Das Konzept dient primär dem Controlling und der Dokumentation, nicht aber der Simulation.

Das Berichtswesen auf Baustellen ist ein wichtiges Instrument des Baustellencontrollings. Die Forschung in diesem Bereich konzentriert sich vornehmlich auf die Digitalisierung des Berichtswesens. Die angesprochenen Beiträge beinhalten keine ereignisorientierte Bau-Ist-Erfassung.

So entwickelten PFLUG und MOTZKO am Beispiel der Neuen Messe Stuttgart ein digitales Informationssystem zur Baustellendokumentation und Leistungsfeststellung [65]. Es baut auf einem digitalen Bautagebuch auf und ist eine Datenbank, in der baustellenrelevante Daten wie Personaleinsatz, Geräte, Mängel, Störungen und Bildaufnahmen zentral abgelegt werden. Des Weiteren wurde ein System implementiert, das auf Erfassungsbögen aufbaut und den Fertigungs- und Montageablauf dokumentiert. Der Schwerpunkt liegt in dieser Arbeit auf der Digitalisierung des traditionellen Berichtswesens.

LI et al. haben eine webbasierte Datenbank entwickelt, welche dem Baustellencontrolling, der Problemanalyse und der Prognose des weiteren Projektverlaufes dient. Zu diesem Zweck werden Projekte in „work packages“ gegliedert, die wiederum Vorgänge sowie deren Abhängigkeiten enthalten. Der Ist-Zustand wird über speziell auf den Informationsbedarf abgestimmte Eingabemasken abgefragt. Daraus werden der aktuelle Projektstand sowie aktualisierte Prognosen zum Termin- und Kostenverlauf ermittelt [56].

GRIEBEL berichtet: „Das konzipierte Modell des zeitnahen Kosten-Soll-Ist-Vergleiches in Form einer Handlungsempfehlung mit Kopplung des entwickelten Prognosemodells liefert die notwendige Basis für eine verbesserte Baustellensteuerung“ [29]. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf der Erfassung kostenrelevanter Daten zur Verbesserung des Kostencontrollings. Er verbesserte das Berichtswesen durch eine Standardisierung und die Transformation unformatierter Daten in formatierte Daten und analoger Daten in digitale Daten. Weiterhin entwickelte er Handlungsempfehlungen u. a. mit dem Ziel einer klaren Kostenstruktur und führte alle Daten in einem Datenbanksystem zusammen, um eine durchgängige Informationskette zu erhalten [29].

THOWFEEK et al. entwickelten anhand einer Fallstudie eine prozessorientierte Bau-Ist-Erfassung. Das System dient der Erfassung, Dokumentation, Analyse und Bewertung von Bau-Ist-Daten. Es basiert auf der Annahme, dass der Projektfortschritt anhand von Bauprozessenkenngrößen bewertet werden kann. Die Kenngrößen wurden an der University of Teesside entwickelt. Die prozessorientierte Bau-Ist-Erfassung besteht aus drei Komponenten: einem elektronischen Bautagebuch, einer Datenbasis und einer Datenanalyse. Das Bautagebuch dient der Eingabe von Bau-Ist-Daten und gibt Wochenübersichten über die Entwicklung von zuvor definierten Baufortschrittskenngrößen aus. In der Komponente „Datenbasis“ sind Kenngrößen vorangegangener und aktueller Projekte hinterlegt. Mit Hilfe der Komponente „Datenanalyse“ werden die aktuellen Projektkenngrößen mit den Daten der Datenbasis abgeglichen und Berichte erstellt, um die Projektleitung bei der Festlegung geeigneter Steuerungsmaßnahmen zu unterstützen [86].

Ein anderer Forschungsbereich sind die Auto-Ident- und Positioning-Technologien, wie RFID¹, Barcodes bzw. GPS. Einen Überblick über die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten für Auto-Ident-Technologien im Bauwesen gibt REN [73].

Die Mehrzahl der Forschungsarbeiten konzentriert sich auf die Identifikation von Ressourcen, wie Material, Personal, Maschinen und Werkzeuge. So haben zum Beispiel JASELSKIS et al. [47] in einem Pilotprojekt nachgewiesen, dass durch die Materialidentifikation mittels RFID während des Entladevorgangs erhebliche Zeiteinsparungen realisierbar sind. SONG et al. beschreiben ein ähnliches Projekt. Sie nutzen im Gegensatz zu JASELSKIS neben einem mobilen Erfassungsgerät ein fest stehendes Erfassungsportal. Sie beschreiben den Zusammenhang zwischen Datendichte und Durchfahrtsgeschwindigkeit [83]. STONE et al. beschreiben ein Projekt, das die Identifikation und Verfolgung (Tracking) von vorgefertigten Bauteilen, wie Stahlträgern oder Fertigteilen, in Echtzeit und mit drahtloser Übertragung der Daten anstrebt [85].

Eine große Innovationsinitiative zur RFID-Anwendung im Bauwesen war die „ARGE RFID“ [93]. Ein Teilprojekt wurde am Bereich „Baubetrieb und Bauwirtschaft“ der Bergischen Universität Wuppertal bearbeitet. Dort wurden Ansätze zur Verbesserung der Materiallogistik, Verladesteuerung und -kontrolle, Werkzeugverwaltung und Personallogistik beschrieben [36], [37], [38], [39], [40]. Weitere Forschungsarbeiten mit diesem Schwerpunkt sind in [31], [73], [79], [80] und [87] dargestellt.

Wesentliche Ansätze der Einsatzmöglichkeiten von Autoident-Technologien auf der Baustelle sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Einsatzmöglichkeiten von Autoident-Technologien zur Identifikation von ...

Personal	Material	Maschinen, Werkzeug, Ausrüstung	Dokumenten
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zugangskontrollen ▪ Ausrüstungskontrollen (Arbeitssicherheit) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eingangserfassung Lager/Baustelle ▪ Materialverwaltung ▪ Materiallokalisierung ▪ Materialverfolgung (Tracking) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bestandsverwaltung ▪ Lokalisierung ▪ Nutzungskotrollen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verwaltung

Die im Folgenden vorgestellten Projekte nutzten RFID oder Barcodes zur Baufortschrittsbestimmung.

NAVON et al. entwickelten ein System zur Überwachung des Baufortschrittes in Echtzeit, das „Soll“ und „Ist“ unter Zuhilfenahme von Projektfortschrittsindikatoren („Project Performance Indicators“) abgleicht. Das Konzept geht davon aus, dass bei einer engen Verknüpfung

¹ Eine Beschreibung der Funktionsweise von RFID und Barcodes erfolgt im Abschnitt 4.2.

fung der Ressourcen (wie Arbeiter und Werkzeuge) zu den Vorgängen von dem Ressourceneinsatz auf den Status der Vorgänge geschlossen werden kann, wenn der Standort der Ressource zum jeweiligen Zeitpunkt bekannt ist. Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt auf der Überwachung von Materialströmen und auf Arbeitssicherheitsaspekten [61].

BABIČ et al. haben ein Konzept ausgearbeitet, mit dessen Hilfe Montagestrategien für Bauwerke aus Fertigteilen auf den aktuellen Produktionsfortschritt abgestimmt werden können. Zu diesem Zweck werden Bauteile, deren Fertigung abgeschlossen ist, in einem BIM als produziert markiert. Auf diese Informationen kann der Bauleiter zugreifen und somit den weiteren Montageablauf an den aktuellen Produktionsfortschritt anpassen. Fehlende Teile sollen durch dieses Konzept sofort bemerkt werden. Schließlich markiert der Bauleiter die fertig montierten Bauteile ebenfalls im BIM. Dadurch ist der aktuelle Bau-Ist-Zustand erfasst. Die Autoren verweisen auf eine zukünftige Automatisierung der Erfassung durch RFID [3].

RASDORF und HERBERT stellten bereits 1990 einen Ansatz zur Identifikation von Maschinen, Baumaterial und Vorgängen mit Hilfe von Barcodes vor. Das Konzept geht auf die Erfassung von singular erfassbaren Materialien, wie bspw. Stahlträgern oder Maschinen, loser Massenware wie bspw. Kies, und auf Materialien ein, welche sowohl als Massenware als auch als Einzelstücke auftreten können, wie bspw. Schrauben. Darüber hinaus wird der aktuelle Status von Vorgängen mit Hilfe von Barcodes erfasst. Zu diesem Zweck werden Barcodes vorgefertigt, welche den jeweiligen Vorgängen sowie deren Status (bspw. „begonnen“, „verspätet“ oder „in Bearbeitung“) eindeutig zugeordnet sind. Diese Barcodes befinden sich auf Blättern und müssen vor Ort nach Beobachtung des Baufortschrittes gescannt werden. Genutzt werden die erfassten Daten durch ein „Construction Information Management System“ [69].

CHENG und CHEN stellen die Entwicklung eines automatischen Termin-Controllingsystems für Bauwerke aus vorgefertigten Bauteilen wie bspw. Systemhallen vor. In der Planungsphase wird ein Hubplan erstellt, aus dem hervorgeht, wann der Kran die verschiedenen Fertigteile einheben soll. Abgestimmt auf diesen Plan werden den Bauteilen bereits in der Planungsphase Barcodes zugewiesen, welche nach der Produktion auf den Bauteilen befestigt werden. Anhand dieser Barcodes kann dann verfolgt werden, wann die Bauteile auf dem Lagerplatz abgelegt und später von dort zum Einbauort transportiert werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Bauteile nach Wiederaufnahme auf dem Lagerplatz auch tatsächlich eingebaut werden. Die gewonnenen Daten werden in ein Datenmanagementsystem übertragen, mit dessen Hilfe die Produktions-, Logistik- und Einbauprozesse gesteuert werden [13].

Der Forschungsverbund „Virtuelle Baustelle“ (ForBAU) arbeitet an der ganzheitliche Abbildung komplexer Bauvorhaben in einem digitalen Baustelleninformationsmodell [21] und

beschäftigt sich in diesem Zusammenhang ebenfalls mit der Abbildung des Ist-Zustandes von Baustellen [22].

Die Zielsetzung der Forschungsarbeit beschreiben die Beteiligten [30] wie folgt: „Die globale Zielsetzung des Forschungsverbundes ForBAU besteht in der Entwicklung und durchgängigen Nutzung von digitalen Werkzeugen in der Bauplanung von der frühen Konstruktionsphase über die Simulation der Bauprozesse bis hin zur Logistikplanung und dem zugehörigen Controlling auf der realen Baustelle.“

Die Forschungsarbeit umfasst die Teilprojekte „BAU-IT“, „BAU-SIM“, „BAU-LOG“ und „BAU-IDENT“ [30]. In den Teilprojekten werden unterschiedliche Strategien zur Bau-Ist-Erfassung verfolgt. Diese sind auf verschiedene Erfassungsziele und Baumaßnahmen ausgerichtet. Im Rahmen des Teilprojektes „BAU-IT“ werden Punktwolken ausgewertet und daraus ein Volumenmodell abgeleitet, welches anschließend mit einem Soll-Modell abgeglichen wird. Ausgewertet werden Bildinformationen und die Daten eines Laserscanners, die zum Teil aus Luftaufnahmen stammen. Untersuchungsgegenstand ist in diesem Teilprojekt der Erdbauprozess einer Straßenbaumaßnahme. Die Forschung erfolgt in enger Zusammenarbeit mit Firmen. So stellte GEIB das „Laserscanning als Mittel zur großflächigen Aufnahme von Infrastrukturbaumaßnahmen“ vor [25]. Darin nennt er als Zielstellung u. a. die Dokumentation des Baufortschrittes und beschreibt als bisherige Lösungsansätze die Erfassung mit Hilfe einer Totalstation, einer Imaging-Totalstation, eines Laserscannings bzw. einer Quadropterbefliegung. Er stellt die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren vor, wobei die Bewertung der Anwendungshäufigkeit hervorzuheben ist. Die Verfahren sind nach seiner Einschätzung nur mit großen Zeitintervallen, zwischen einmal pro Woche und einmal pro Monat, einsetzbar. Als Alternative stellt er das „Mobile Mapping“ vor. Dieses System ist auf einem Fahrzeug installiert und nimmt 360°-Fotos, GPS- und Laserscanningdaten auf. Es sei mit einer hohen Genauigkeit und Punktdichte, einer schnellen sowie einfachen Aufnahme und Auswertung, preiswert und einmal täglich einsetzbar. Als Nachteil des Systems nennt er die hohen Anschaffungskosten.

Ziele des Teilprojektes „BAU-SIM“ sind u. a. Soll-Ist-Abgleiche. ForBAU beschreibt die Ziele wie folgt: „Während der Bauphase werden von Bauleiter, Polier und Vermesser Ist-Daten von der Baustelle in das zentrale System gespeist. Diese können z. B. in Form von digitalen Tages- und Statusberichten, qualitätsrelevanten Dokumenten, Abnahmeprotokollen, Bildern oder Vermessungsdaten in den entsprechenden Datencontainern des PDM²-Systems abgelegt und so mit den Modellen verknüpft werden. Im Rahmen des Controllings werden die Bautagesberichte mit den Soll-Daten aus der Simulation hinsichtlich Mengen, Terminen

² Produktdatenmanagement-System [30]

und Kosten verglichen. Über Bilder und Vermessungsdaten kann dagegen unter Verwendung der 3D-Soll-Modelle ein geometrischer Abgleich erfolgen“ [30].

Ein Schwerpunkt des Teilprojektes liegt auf der Abbildung des aktuellen Grades der Fertigstellung eines Bauteils im Simulationsmodell („im Bau“ oder „fertig gestellt“) [30]. Im Mittelpunkt stehen Erd- und Tiefbauprozesse. Auch dieses Teilprojekt hat einen geometrischen Soll-Ist-Vergleich zum Ziel und leitet zu diesem Zweck Baufortschrittsinformationen aus Punktwolken ab.

Das Teilprojekt „BAU-LOG“ erfasst Materialströme, Warenein- und -ausgänge sowie Lagerorte. Die Erfassung erfolgt mit Hilfe von Identifikationstechnologien wie RFID oder Barcodes.

„BAU-IDENT“ stellt die Online-Verknüpfung der Ist-Daten mit den Plandaten in den Mittelpunkt und beschäftigt sich zu diesem Zweck ebenfalls mit Identifikationstechnologien. Untersucht werden in diesem Projekt Nutzungspotentiale dieser Technologien bspw. hinsichtlich der Bestimmung von Betriebszeiten.

An der TU München wurde im Zusammenhang mit der Forschungsarbeit ForBAU eine Anwendung zur Baufortschrittskontrolle in Echtzeit entwickelt. Dieses Konzept greift auf die NFC-Technologie (Near Field Communication) zurück, eine Weiterentwicklung der RFID-Technologie, welche nur geringe Distanzen abdeckt. Jede Ressource wird mit einer eigenen ID (Identifikation) eindeutig markiert. Diese ID wird je nach Baufortschritt ausgelesen und dem Objekt ein Status wie bspw. „geliefert“ oder „eingebaut“ zugewiesen. Als Untersuchungsobjekt wurden auch hier Fertigteile gewählt. Der Forschungsschwerpunkt liegt auf der Weiterverarbeitung der erhobenen Daten in Echtzeit [51].

Folgendes lässt sich feststellen:

Die Forschungsansätze, die Bildinformationen auswerten, gehen von der Identifikation des geometrischen Baufortschrittes aus. An der University of Maribor werden diese Informationen mit prozessbezogenen Daten verknüpft und somit Vorgänge identifiziert. Allerdings ist dieses Konzept auf die Herstellungsprozesse von Bauwerken aus vorgefertigten Bauteilen abgestimmt, bei denen insbesondere die zeitliche Abstimmung zwischen Produktion, Lieferung und Einbau eine Rolle spielen.

Mit Hilfe des Berichtswesens wird der Baufortschritt – je nach Inhalt der Berichte – sowohl geometrisch als auch prozessorientiert beschrieben.

Alle vorgestellten Ansätze, die Bildinformationen auswerten oder ein Berichtswesen nutzen, haben das Ziel, das Projektcontrolling zu verbessern. Die Erfassung ist inhaltlich nicht konkret auf die Anforderungen eines Simulationsmodells abgestimmt und erfolgt nicht explizit

ereignisdiskret. Das digitale Berichtswesen liefert aber eine wichtige Grundlage für die vorliegende Arbeit, da eine digitale Bereitstellung der Bau-Ist-Daten gesucht wird.

Die Forschungsarbeiten mit Auto-Ident-Technologien zeigen, dass diese Technologien vielfältig eingesetzt werden können. Aus der Identifikation von Objekten werden wichtige Informationen über die Randbedingungen eines Bauablaufes wie bspw. den Ressourcenbestand bzw. Logistikprozesse gewonnen. Einige Konzepte gehen auch weiter und nutzen Auto-Ident-Technologien, um den aktuellen Status eines Vorgangs zu bestimmen, wobei diese Ansätze überwiegend vorgefertigte Bauteile betrachten. Ziel dieser Ansätze ist es, den weiteren Bauablauf unter Berücksichtigung der aktuellen Randbedingungen möglichst optimal bspw. durch Änderung der Montagestrategie auszusteuern. Sie leisten eine wertvolle Vorarbeit für das Ziel der vorliegenden Arbeit, sind aber nicht ohne Weiteres übertragbar. Eine Verknüpfung zur Bauprozesssimulation wird nicht beschrieben.

Die Betrachtung des aktuellen Standes der Forschung hat aufgezeigt, dass die Erfassung des Baufortschrittes im Hinblick auf die Anforderungen aus der ereignisorientierten Bauprozesssimulation noch nicht hinreichend gelöst ist. Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Beschreibung der Randbedingungen zu. Wie in der Einleitung dargestellt, ist die Ausführungsphase von Bauprojekten durch eine Vielzahl an möglichen Ablaufvarianten geprägt. Der Lösungsraum verändert sich aufgrund wechselnder Randbedingungen ständig. Es eröffnen sich neue Lösungswege, während sich andere wieder verschließen. Besonders wenn ein Projekt begonnen wurde, werden mögliche Ausführungsalternativen nicht mehr hinreichend ermittelt und bewertet. Das Haupthindernis liegt in der Beschreibung des aktuellen Bau-Ist-Zustandes und der Randbedingungen, welche bislang nur in unzureichendem Maße erfolgt.

Um die Methoden der Ablaufplanung hinsichtlich der besseren Ausschöpfung des Lösungsraumes zu verbessern, hat BEIßERT ein Constraint-basiertes Modellierungskonzept zur detaillierten Beschreibung von Produktionsprozessen und ihren komplexen Abhängigkeiten in der Baubranche entwickelt [6]. Sie hat damit die Grundlagen für eine ereignisdiskrete Betrachtung von Ablaufproblemen im Bauwesen unter Berücksichtigung aktueller Randbedingungen geschaffen.

Ein Konzept zur Erfassung der aktuellen Randbedingungen wurde bislang nicht entwickelt. Dabei ist gerade die Aktualität der Baufortschrittsdaten ein wichtiger Aspekt der Ablaufplanung. Durch die zeitnahe Bereitstellung und Auswertung der Daten kann die Reaktionsfähigkeit erhöht werden. Das ist im Baustellenalltag von besonderem Interesse.

1.4 Forschungsbedarf und Abgrenzung der Arbeit

Die folgenden Defizite wurden identifiziert und sollen in der vorliegenden Arbeit näher betrachtet werden.

Aus dem Ziel, Daten für eine Bauprozesssimulation zur Verfügung zu stellen, ergibt sich die Notwendigkeit, den Baufortschritt ereignisdiskret abzubilden. Die Mehrzahl der Forschungsarbeiten legt ihren Untersuchungen eine Erfassung geometrischer Daten zugrunde. Mit Hilfe geometrischer Baufortschrittsdaten kann nicht sicher auf alle relevanten Ereignisse rückgeschlossen werden. Der Rückschluss von geometrischen Veränderungen auf Ereignisse erfordert zudem einen hohen Aufwand und ist somit zeitaufwendig. Ziel der Arbeit ist ein Erfassungskonzept, welches den zusätzlichen Aufwand für die Erfassung gering hält. Aus diesem Grund wird eine direkte Erfassung der Ereignisse angestrebt.

Es hat sich gezeigt, dass einige Forschungsarbeiten [3], [69], [13] einen ereignisbasierten Ansatz zur Erfassung des Baufortschrittes verfolgen. Diese Projekte beschränken die Erfassung auf Baumaßnahmen, welche Fertigelemente verwenden. Das angestrebte Erfassungskonzept soll diese Beschränkung überwinden und somit ein breites Einsatzspektrum abdecken. Es sollen auch Prozesse wie das Betonieren auf der Baustelle sowie Abdichtungs- oder Prüfprozesse erfasst werden.

Ein Simulationswerkzeug wird nur Akzeptanz finden, wenn es die Bauleitung zeitnah unterstützen kann. Aus diesem Grunde soll das Erfassungskonzept neben der ereignisbasierten Erfassung auch den Anforderungen an eine tägliche Bestimmung des Baufortschrittes gerecht werden. Diese Kombination von Anforderungen wurde bislang keinem anderen Erfassungskonzept zugrunde gelegt.

Die Arbeit konzentriert sich auf die Entwicklung eines Erfassungskonzeptes, um Informationen bereitzustellen. Sie greift auf bereits abgeschlossene Arbeiten zurück, welche die Ermittlung von Bauablaufplänen zum Gegenstand ihrer Forschung gemacht haben. An diese Arbeiten knüpft die vorliegende Arbeit an, ohne eine Ermittlung oder Optimierung von Bauabläufen zum Ziel zu haben.

Die vorliegende Arbeit ist im Bereich des Baubetriebswesens angesiedelt, deshalb konzentriert sie sich auf den baubetrieblichen Forschungsbedarf. Forschungsaspekte, welche den Wissenschaftsgebieten Informatik und Vermessungswesen zuzuordnen sind, wie die Datenübergabe zwischen Erfassungsinstrument und Simulationswerkzeug oder die Entwicklung eines Simulationswerkzeuges, werden nicht betrachtet. Der betrachtete Bauprozess wird nicht in Form eines Simulationsmodells abgebildet.

Es existieren viele Techniken, mit deren Hilfe verschiedene Indikatoren des Baufortschrittes erfasst werden können. Auf diese Anwendungen wird zurückgegriffen. Sie werden zusammengeführt und ihr Zusammenspiel definiert. Neu- oder Weiterentwicklungen dieser Techniken werden nicht angestrebt.

In der vorgestellten Untersuchung kann aufgrund der Festlegung, dass die Bauprozesse unter dem Gesichtspunkt der Terminsteuerung betrachtet werden, folgende Eingrenzung getroffen werden: Die Ausführungsqualität bzw. -genauigkeit wird nicht betrachtet.

Die Untersuchungen werden am Beispiel der Brückenkappe und deren Bauprozessen mit Blick auf eine Verallgemeinerung der Erkenntnisse anhand der betrachteten Bauprozesse angewendet. Es gibt eine Vielzahl an bautypischen Produktionsprozessen, auf die dieses Konzept bei entsprechender Erweiterung angewendet werden kann, wie bspw. die Verwendung von Spannstahl. Solche Erweiterungen könnten Gegenstand der praktischen Umsetzung sein.

Auf vertragliche Bindungen und Konstellationen unter den am Bau Beteiligten, wie bspw. die Bindung von Subunternehmern, wird nicht eingegangen.

1.5 Grundlagen

In diesem Abschnitt werden wesentliche Grundlagen definiert, damit soll ein Begriffsapparat und sprachlicher Bezugsrahmen geschaffen werden. Die vorliegende Arbeit basiert auf der Betrachtung eines Problems der Ablaufplanung, der Schwerpunkt wurde auf das Termincontrolling gelegt.

Ablaufplan

Die DIN 69901-5 definiert den Begriff Ablaufplan als „Übersicht über den geplanten sachlichen, unter Umständen auch zeitlichen Ablauf des Projektgeschehens, orientiert am Projektziel, den Realisierungsbedingungen und den geplanten Ergebnissen“ [15].

Ablaufplanung

Die Arbeit lehnt sich an die Betrachtungen SAUERS bezüglich der Ablaufplanung an, welcher definiert: „In der Ablaufplanung werden Probleme der zeitlichen Zuordnung von Aktivitäten zu limitierten Ressourcen betrachtet, wobei unterschiedliche Nebenbedingungen zu berücksichtigen sind und bestimmte Ziele erreicht bzw. optimiert werden sollen“ [78].

SAUER unterscheidet zwei Aufgabenstellungen in der Ablaufplanung, welche verschiedene Anforderungen an die Lösung der Ablaufprobleme stellen.

„Zur Lösung von Ablaufplanungsproblemen werden vor allem zwei Aufgabenkomplexe unterschieden, die auch in dieser Reihenfolge historisch entstanden sind. Bei der prädiktiven Ablaufplanung wird der Plan vorausschauend für einen bestimmten Zeitabschnitt unter An-

nahme einer statischen Planungsumgebung erstellt. In der reaktiven Ablaufplanung steht die Anpassung des Plans an neue Situationen im Mittelpunkt“ [77].

Er führt weiter aus: „In der prädiktiven Ablaufplanung wird für einen festgelegten zeitlichen Bereich ein Plan erstellt, der den vorgegebenen Nebenbedingungen genügt, die gewünschten Ziele möglichst erfüllt und evtl. auch eine gegebene Zielfunktion optimiert. [...] Bei dieser Art der Planung wird im Prinzip eine statische Planungsumgebung angenommen, d. h. dass Ereignisse aus dem Planungsumfeld und deren Auswirkungen zunächst nicht bei der Planung berücksichtigt werden“ [77].

Die reaktive Ablaufplanung charakterisiert SAUER wie folgt: „Praxisrelevante Produktionsumgebungen sind nicht statisch, sondern sehr dynamisch, d.h. es treten ständig Änderungen in der Planungsumgebung auf, die entsprechend berücksichtigt werden müssen. [...] Die Veränderungen in der Planungsumgebung führen dazu, dass der erstellte Plan nicht mehr gültig ist, da i. A. bestimmte Bedingungen nicht mehr erfüllt sind“ [77].

Die vorliegende Arbeit fokussiert auf die reaktive Ablaufplanung. Ein Simulationswerkzeug soll unter Berücksichtigung aktueller Bau-Ist-Daten zur reaktiven Ablaufplanung eingesetzt werden. Wichtig für die reaktive Ablaufplanung ist die zeitnahe Bereitstellung der für die Aktualisierung der Ablaufplanung notwendigen Informationen.

Simulation

Im Entwurf der VDI 3633 ist der Begriff Simulation wie folgt definiert: „Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Insbesondere werden die Prozesse über die Zeit entwickelt. Anmerkung: Im weiteren Sinne wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit einem Simulationsmodell verstanden“ [89].

Prozess

Die DIN 69901-5 definiert den Begriff „Prozess“ wie folgt: „Nutzung von Ressourcen oder Informationen (im Rahmen der Prozessgruppe Projektmanagementprozesse) zur Erzielung eines Prozessergebnisses“ [15]. Weitergehend wird auf die Definitionen in der Fachliteratur verwiesen.

In Anlehnung an MÄNNEL [58] und BUCHOP³ [9] wird der Begriff Prozess wie folgt definiert: „Ein Prozess ist eine auf die Erbringung eines Leistungsoutputs gerichtete Kette von

³ „Ein Prozess ist eine zielgerichtete, inhaltlich abgeschlossene und zeitlich begrenzte Folge von sachlogisch, räumlich und zeitlich aufeinander abgestimmten reglementierten Aktivitäten eines Lieferanten, die durch mindestens einen definierten, messbaren Input eines Kunden ausgelöst werden und deren Transformation mindestens einen definierten, messbaren Output an den Kunden liefert“ [9].

Aktivitäten“⁴ [58], er dient der Transformation und wird gekennzeichnet durch einen Leistungsausput, eine Inanspruchnahme von Ressourcen sowie eine Durchlauf- bzw. Bearbeitungszeit.

Modell

Im Entwurf der VDI 3633 wird definiert: „Ein Modell ist eine vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System. Es unterscheidet sich hinsichtlich der untersuchungsrelevanten Eigenschaften nur innerhalb eines vom Untersuchungsziel abhängigen Toleranzrahmens vom Vorbild“ [89].

Modellbildung bzw. Systemmodell

Die Modellbildung wird von IMBODEN wie folgt beschrieben: „Die Konstruktion eines Modells beginnt mit der Festlegung der Systemgrenzen, der Definition der Systemvariablen, der äußeren und der inneren Relationen. Ausgangspunkt sind vielfach empirische Informationen, z.B. Messdaten. Diese werden im Hinblick auf die Konstruktion des Modells geordnet. Das Modell, in den meisten Fällen ein mathematisches Modell, soll die Daten in möglichst einfacher Form als Resultat der inneren Struktur des Modells und der äußeren Relationen erklären“ [43].

Prozessmodell

IMBODEN definiert „System“ wie folgt: „Ein System ist eine Menge von Objekten, zwischen denen Relationen bestehen“ [43]. Im Rahmen dieser Arbeit ist das betrachtete System der Bauprozess. Hier kann auch die Definition des Begriffes System nach SPUR angeführt werden: „Die Grundfunktion technischer Systeme besteht in der Transformation eines Eingangszustandes in einen Ausgangszustand. [...] Diese Transformation muss bei wachsender Komplexität immer mehr Einflussgrößen berücksichtigen und auch mehreren Zielen gleichzeitig gerecht werden. Hinsichtlich der systemischen Verknüpfungen bestehen Ordnungsstrukturen und Beziehungen sowohl nach innen als auch nach außen“ [63].

Der Begriff Modell wird durch IMBODEN wie folgt definiert: „Ein Modell ist ein Konzept zur vereinfachten Darstellung eines komplexen Systems. Es dient dazu, die wichtigen Eigenschaften eines Systems darzustellen und die nebensächlichen Eigenschaften außer Acht zu lassen. Bei einem mathematischen Modell werden die Wechselwirkungen zwischen den Systemvariablen (innere Relationen) sowie zwischen diesen und der Umwelt (äußere Relationen) mathematisch formuliert“ [43]. In der vorliegenden Arbeit wird der reale Bauprozess, das zu beschreibende System, durch Beobachtung erfasst und in ein Modell überführt, auf welches sich dann die weiteren Untersuchungen stützen. Somit erfolgt eine Modellbildung.

⁴ In der Literatur werden Vorgänge auch als Aktivitäten angesprochen.

Ereignisdiskret

BEIBERT definiert: „Im Rahmen der ereignisdiskreten Simulation werden Veränderungen von Systemzuständen durch Ereignisse ausgelöst“ [6].

Ereignisgesteuerte Prozessketten

Der Bauablauf wird in Form einer ereignisgesteuerten Prozesskette (EPK) abgebildet. Dabei handelt es sich um eine semiformale, grafische Modellierungsmethode zur Beschreibung von „Prozessen (zusammenhängenden Aktivitäten/Ablaufreihenfolgen)“ [44]. Eine EPK ist ein gerichteter Graph und besteht aus den Elementen „Funktion“ und „Ereignis“ (siehe Abbildung 3), welche über gerichtete Kanten miteinander verbunden sind, wobei an geeigneten Stellen Verknüpfungsoperatoren zwischengeschaltet werden können.

Funktionen (Vorgänge) (blaue Vierecke) sind aktive Komponenten, die Input- in Output transformieren. Funktionen haben im Gegensatz zu Ereignissen eine Entscheidungskompetenz über den weiteren Bauablauf. Sie können soweit unterteilt werden, bis die einzelnen Vorgänge nicht weiter sinnvoll teilbar sind. Im Weiteren werden die Funktionen als Vorgänge bezeichnet.

Ereignisse (gelbe Sechsecke) sind passive Komponenten. Sie sind der Auslöser oder das Ergebnis einer Funktion. Sie markieren einen eingetretenen Zustand. Ein Ereignis ist ebenfalls ein Bestandteil eines Prozesses. Im Gegensatz zu einem Vorgang bewirkt es keine Transformation, es zeigt den Eintritt eines Zustandes an und kann Input und/oder Output eines Prozesses sein. In der DIN 69900 ist definiert: „Ein Ereignis ist ein Ablaufelement, das das Eintreten eines bestimmten Zustandes beschreibt“ [16]. Ein Ereignis hat **keine Dauer**.

Die Grundelemente der EPK (Abbildung 3) können direkt oder durch Verknüpfungsoperatoren (weiße Kreise) miteinander verknüpft werden. Durch diese Zuordnung entsteht ein Ablaufplan. Bei den Verknüpfungsoperatoren steht:

- AND für eine „und“-Verknüpfung, d. h. die Gesamtaussage ist wahr, wenn beide Aussage gleichzeitig wahr sind,
- OR für eine „oder“-Verknüpfung, d. h. die Gesamtaussage ist wahr, wenn mindestens eine Aussage wahr ist, und
- XOR für eine „entweder-oder“-Verknüpfung, d. h. die Gesamtaussage ist wahr, wenn genau eine Aussagen wahr ist [44].

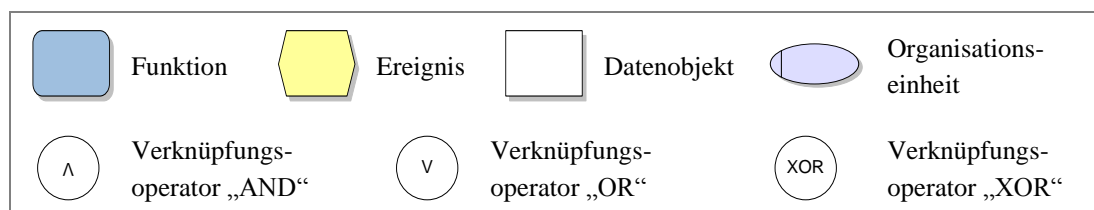


Abbildung 3: Grundelemente der EPK [43]

Den Funktionen können Ergänzungselemente in Form von Organisationseinheiten (lila Ovale) und Datenobjekte (weiße Vierecke) zugeordnet werden (vgl. [44]).

Abbildung 4 zeigt einen Teilausschnitt der EPK des Bauablaufes der Brückenkappe.

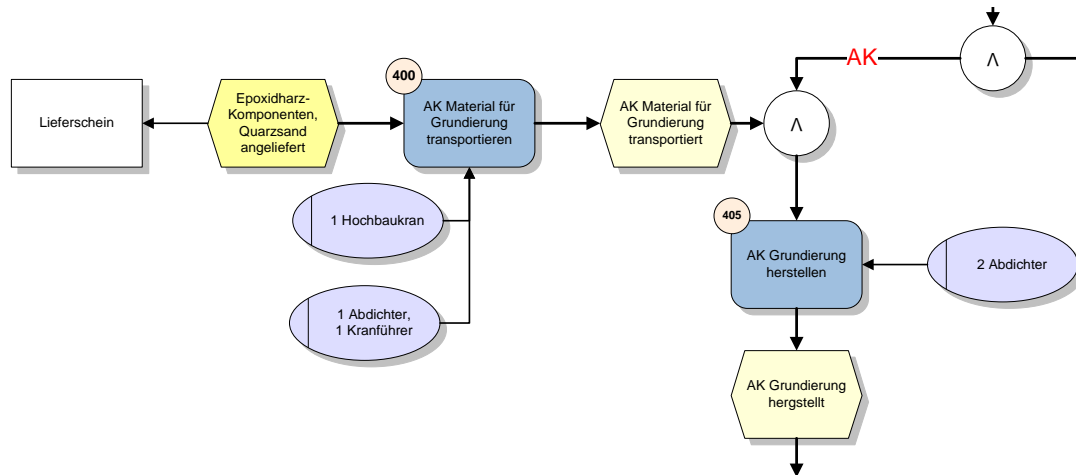


Abbildung 4: Ausschnitt EPK (eigene Darstellung)

1.6 Definition der Modellparameter

SMITH und BECKER entwickelten eine Ontologie für eine constraint-basierte Ablaufplanung. Ablaufplanung wird in diesem Zusammenhang definiert als Synchronisation der Nutzung von Ressourcen durch Vorgänge, um Anforderungen in einer bestimmten Zeit zu erfüllen. „Scheduling is defined as a process of feasibly synchronizing the use of resources by activities to satisfy demands over time, and application problems are described in terms of this abstract domain model” [82]. Dieser Ansatz stellt die Vorgänge in den Mittelpunkt.

Abbildung 5 zeigt die fünf Basiskomponenten **Aufträge** (Demand), **Produkte** (Product), **Vorgänge** (Activity), **Ressourcen** und **Constraints**, von denen das abstrakte Modell der Autoren ausgeht und deren Abhängigkeiten und Beziehungen untereinander.

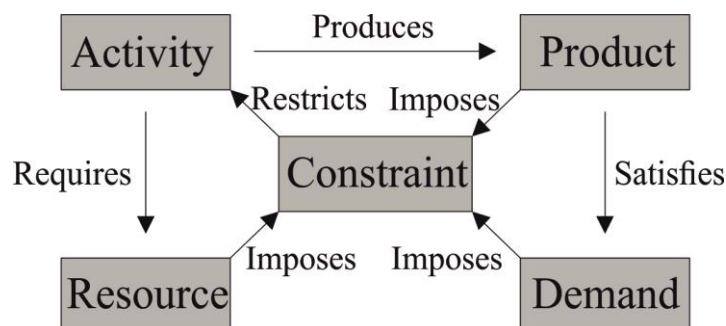


Abbildung 5: Abstract Domain Modell [82]

SMITH beschreibt die Abhängigkeiten der fünf Basiskomponenten wie folgt: „A DEMAND is an input request for one or more PRODUCTS, which designate the goods or services required.

Satisfaction of DEMANDS centers around the execution of ACTIVITIES. An ACTIVITY is a process that uses RESOURCES to produce goods or provide services. The use of RESOURCES and the execution of ACTIVITIES is restricted by a set of CONSTRAINTS“⁵ [82].

SAUER beschäftigte sich unter Berücksichtigung der Ansätze von SMITH und BECKER ebenfalls mit der Darstellung von Ablaufproblemen unter Verwendung von Constraints. Er definiert den Begriff Ablaufplanungsproblem wie folgt: „Ein Ablaufplanungsproblem ist gekennzeichnet durch die verwendeten Ressourcen, z. B. Maschinen oder Personal, die bestimmten Beschränkungen unterliegen, die Produkte, die in verschiedenen Varianten mit jeweils mehreren Operationen auf diesen Ressourcen hergestellt werden können, die Menge der vorgegebenen Aufträge zur Herstellung von Produkten und schließlich Constraints, die bei der Planung bzw. vom Planungsergebnis eingehalten werden müssen bzw. sollten“ [77].

SAUER stellt die reaktive Ablaufplanung, also die Berücksichtigung aktueller Randbedingungen, in das Zentrum seines Lösungsansatzes und erweitert die Basiskomponenten von SMITH. Er entwickelt einen Ansatz, bei dem er in Hard und Soft Constraints unterteilt und Störungsereignisse⁶ sowie Ziel- und Bewertungsfunktionen einführt (vgl. [77]).

Aufträge

Aufträge definieren die herzustellenden Produkte. Sie benennen die herzustellende Menge, den Produktionszeitraum und ggf. das Produktionsintervall. Aufträge spezifizieren somit die Ziele, welche das System erfüllen soll, und Einschränkungen (Constraints), welche bei der Erzielung dieser Ziele eingehalten werden müssen. Die ausstehenden Aufträge spezifizieren folglich das zu lösende Ablaufproblem (vgl. [77], [82]).

Produkte

Produkte sind Gegenstände oder Dienstleistungen, die durch das betrachtete System erbracht werden. Produkte werden durch die Ausführung von Vorgängen hergestellt. Somit werden durch die Produkte mögliche Produktionsabläufe, bestehend aus Vorgängen, vorgegeben (vgl. [77], [82]).

Vorgänge

Ein Vorgang ist ein Bestandteil eines Prozesses und bewirkt eine **Transformation**. Vorgänge haben eine **Dauer**. Ein Vorgang wird unter dem Einsatz von Ressourcen ausgeführt. Er verwendet Ressourcen bzw. es werden Ressourcen benötigt, um einen Vorgang auszuführen.

⁵ Ein Auftrag ist die Anforderung eines oder mehrerer Produkte, welche Waren oder Dienstleistungen sein können. Im Mittelpunkt der Auftragsbearbeitung steht die Ausführung von Vorgängen. Ein Vorgang ist ein Prozess, der Ressourcen verwendet, um Waren herzustellen oder Dienstleistungen anzubieten. Die Verwendung von Ressourcen und die Ausführung von Vorgängen werden durch Constraints eingeschränkt.

⁶ Störungsereignisse werden in der Arbeit von Sauer als Ereignisse bezeichnet.

Ein Vorgang kann in mehrere Untervorgänge gegliedert werden, um ein Ablaufproblem in einem komplexeren Abstraktionsgrad darzustellen (vgl. [82]).⁷

Ressourcen

Ressourcen sind ein „natürlich vorhandener Bestand an“ [...] Arbeitskräften u. a., der „für einen bestimmten Zweck“, [...] „zur wirtschaftlichen Produktion, benötigt wird“ u. in Zukunft benötigt werden wird [17].

Ressourcen sind notwendig, um Vorgänge ausführen zu können [82]. Ihre Verfügbarkeit limitiert, wann und wie Vorgänge ausgeführt werden können. Der effiziente Einsatz von Ressourcen bei der Ausführung mehrerer konkurrierender Vorgänge ist das Kernproblem der Ablaufplanung.

Der Ressourcenbestand ist eine dynamische, numerisch beschreibbare Größe. Er verändert sich im Laufe der Zeit in Abhängigkeit der Allokation der Ressourcen zu Vorgängen.

Im Hinblick auf die Disposition von Ressourcen werden zwei Arten von Ressourcen unterschieden: Zum einen gibt es Ressourcen, welche **wiederverwendbar** sind und zu einem bestimmten Zeitpunkt mit definierten Eigenschaften wie z. B. einer bestimmten Kapazität⁸ zur Verfügung stehen. Diese Ressourcen werden, wenn ein Vorgang darauf zugreift, für die Dauer des Vorgangs gesperrt. Sie stehen nach Abschluss des Vorgangs jedoch zukünftigen Vorgängen wieder zur Verfügung. Beispielhaft können hier Maschinen genannt werden (vgl. [82]).

Zum anderen treten Ressourcen als **Verbrauchsgüter** auf. Diese können nur einmalig durch einen Vorgang genutzt werden und stehen nach Abschluss des Vorgangs nicht mehr zur Verfügung. Beispiele hierfür sind Baustoffe und Verbrauchsmaterialien.

Bedingungen

Bedingungen, auch Constraints genannt, beschreiben eine Reihe von Randbedingungen, welche in der Ablaufplanung eingehalten werden müssen. Sie beschränken bspw. den Zeitpunkt, zu dem ein Vorgang gestartet bzw. beendet werden kann (vgl. [82]). Constraints lassen sich in verschiedene Klassen einteilen, z. B. zeitliche, räumliche oder kapazitative Constraints [6]. Bedingungen bewirken Einschränkungen des Lösungsraumes bei der Suche nach möglichen Ablaufvarianten.

Unterteilt werden die Constraints in Hard- und Soft Constraints. Hard Constraints sind in der Ablaufplanung zwingend einzuhaltende Beschränkungen. Sie sorgen für die Einhaltung vor allem produktionstechnischer Beschränkungen (vgl. [77]).

⁷ Gemäß DIN 69900: Ein Vorgang ist ein Ablaufelement zur Beschreibung eines bestimmten Geschehens mit definiertem Anfang und Ende [16].

⁸ Produktions- oder Leistungsvermögen einer Maschine [17]

Es gibt eine Reihe von Constraints, die in der Literatur erwähnt werden (vgl. [84]). Zur Planung von direkten Produktionsprozessen empfiehlt BEIBERT [6] die Berücksichtigung der Hard Constraints, welche die „technologischen Abhängigkeiten“ sowie die Verfügbarkeit der Personal-, Geräte- und Materialressourcen prüfen. Das ebenfalls vorgeschlagene Constraint „Sicherheitskriterien“ wird den folgenden Betrachtungen nicht zugrunde gelegt.

Soft Constraints definieren Bedingungen, „die bei der Planung bzw. vom Planungsergebnis eingehalten werden sollten, aber in gewissem Umfang verletzt werden können, z. B. die Einhaltung vorgegebener Termine. Die Menge der Soft Constraints setzt vor allem die Planungsziele um“ [77].

Mit Soft Constraints kann man u. a. Bauablaufstrategien abbilden. Sie werden im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet, da Soft Constraints vorrangig auf Eigenschaften aufbauen. Somit sind sie Vorgängen zugeordnet und nicht aktuellen Baustellendaten. Aus der Betrachtung von Soft Constraints werden somit keine weiteren Erfassungsgrößen abgeleitet.

In Anlehnung an SMITH/BECKER [82] und SAUER [77] werden drei Basiskomponenten (Vorgänge, Ressourcen, Bedingungen) identifiziert, die notwendig sind, um eine reaktive Bauprozesssimulation aufzubauen. Im Weiteren wird der in Feldstudien ermittelte Bauprozess der Herstellung von Brückenkappen gemäß dieser Basiskomponenten gegliedert. Diese Gliederung wird gewählt, um alle relevanten Prozessgrößen beschreiben zu können und somit eindeutig erfassbar zu machen.

Mit Hilfe dieser Ontologie lässt sich ein Ablaufproblem über die Definition von Aufträgen, Produkten, Ressourcen, Vorgängen, Bedingungen und deren Relationen untereinander eindeutig beschreiben. Im Rückschluss lässt sich festhalten, dass die Vorgänge jene Bearbeitungsschritte beschreiben, welche zur Herstellung eines Produktes ausgeführt werden müssen. Somit sind die Basiskomponenten Auftrag und Produkt anhand der Vorgänge beschrieben. Grundlage bildet die Annahme, dass, wenn alle für die Herstellung eines Produktes notwendigen Vorgänge ausgeführt sind, der Auftrag abgearbeitet sein muss. Entsprechend wird die Beschreibung bzw. Erfassung der Vorgänge mit deren jeweiligem Ressourcenbedarf und den Bedingungen, welche zur Ausführung des Vorgangs erfüllt sein müssen, in den Mittelpunkt der weiteren Betrachtungen gerückt.

2 Modellbildung

Inhalt dieses Kapitels ist der Aufbau eines Prozessmodells. Anhand des Modells soll definiert werden, welche Informationen zum Aufbau einer Simulation, welche die reaktive Ablaufplanung unterstützt, erfasst werden müssen.

Notwendig ist eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Prozessgrößen, welche im Simulationsmodell abgebildet werden. Daher werden detaillierte Informationen über

- die Struktur des Bauprozesses (Strukturgrößen) und
- über die Randbedingungen, welche den Bauablauf (Prozessgrößen) beeinflussen

benötigt.

In so hohem Maße detaillierte Daten über einen Bauprozess sind schwer zugänglich. Das Wissen über die Abläufe eines Fertigungsprozesses, die Verknüpfungen der einzelnen Fertigungsschritte untereinander, die notwendigen Randbedingungen und die möglichen Steuerungsmaßnahmen liegt größtenteils bei den Ausführenden selbst. Es ist ein Erfahrungsschatz, der in der Literatur bisher kaum Niederschlag findet, das mag u. a. an der hohen Komplexität liegen.

Da diese Informationen auch nach Fachinterviews mit Bauleitern nicht mit dem notwendigen Detaillierungsgrad beschrieben werden konnten, wurden verschiedene Baustellen ausgewählt, um dort den Bauablauf exakt zu dokumentieren.

Als geeignetes Teilobjekt wurde ein Bauteil gesucht, das die folgenden Kriterien erfüllt:

- Die Untersuchungsergebnisse sollten Potential zur Verallgemeinerung haben, d. h. vom betrachteten Bauprozess sollten Rückschlüsse auf andere gezogen werden können und die Untersuchungsergebnisse übertragbar sein.
- Es sollte ein hoher Wiederholungsgrad der einzelnen Prozessschritte vorhanden sein, um eine Optimierung durch Taktung zu ermöglichen. Dies trifft auf Linienbauwerke zu.

- Das Bauteil sollte in sich abgeschlossen sein, um zunächst den Einfluss aus weiteren Bauprozessen nicht berücksichtigen zu müssen.
- Der Bauprozess sollte nicht zu komplex sein. Eine überschaubare Anzahl an Prozessen, welche parallel laufen können, war allerdings für die Ermittlung von Optimierungsansätzen notwendig.
- Insgesamt sollte die Anzahl an Teilprozessen nicht zu groß sein.
- Es sollten Vorgänge und Materialien mit unterschiedlichen Anforderungen an die Erfassungstechnik zum Einsatz kommen, um ein möglichst breites Ergebnis mit guten Ansätzen zur Verallgemeinerung zu erhalten.

Diese Anforderungen erfüllen Brückenkappen. Ihre Herstellung umfasst eine Reihe sehr unterschiedlicher Teilprozesse, wie bspw. die Aufbringung von Dichtungsschichten, Schal- und Betonier- sowie Prüfprozesse. Die Prozesse sind für die Herstellung vieler Stahlbetonbauteile notwendig. Somit können die anhand des Beispiels Brückenkappe gewonnenen Erkenntnisse auf andere Bauteile übertragen und verallgemeinert werden. Außerdem stellen die genannten Prozesse unterschiedliche Anforderungen an die Erfassungstechnik. Brückenkappen sind linienförmige Bauteile, die meist in Takten hergestellt werden. Aufgrund der Bauteilgröße und -komplexität bleibt die Anzahl der Teilprozesse dennoch überschaubar. Insgesamt sind alle zur Herstellung einer Brückenkappe notwendigen Prozesse dem Bauteil zuordenbar.

2.1 Brückenkappen

Brückenkappen sind Verschleißteile, welche für eine Nutzungsdauer von ca. 25 Jahren ausgelegt sind [32]. Eine Brückenkappe dient:

- dem Schutz tragender Brückenteile vor Verschleiß und Umwelteinflüssen,
- der Befestigung passiver Schutzeinrichtungen, wie Leitplanken und Geländer, und passiver Lärmschutzeinrichtungen,
- der Sicherung des Verkehrsraumes durch das Schrammbord und
- als Flucht-, Inspektions-, Fahrrad- oder Gehweg [57].

Abbildung 6 zeigt eine typische Brückenkappe. Unter der Brückenkappe liegt eine Dichtungsbahn auf dem Überbau. Die Herstellung des Verbunds der Brückenkappe und der Überbaukonstruktion erfolgt über die seitlich aus dem Überbau herausstehende Bewehrungsschleife als Anschlussbewehrung.

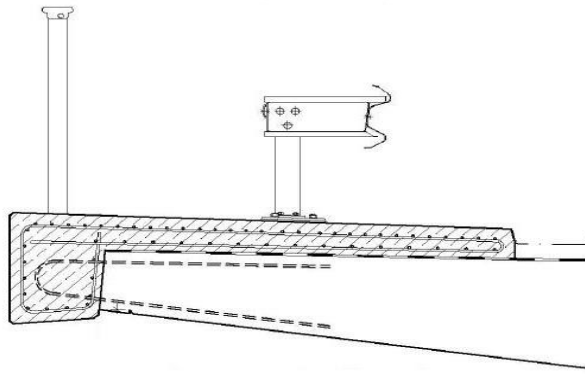


Abbildung 6: Brückenkappe nach [12]

2.2 Prozessidentifikation

Auf Baustellen werden die gleichen Prozesse leicht variiert durchgeführt. Durch die Beobachtung mehrerer Baustellen wird von individuell geprägten Prozessen auf allgemeinere, standardisierte Prozesse geschlossen.

Für die vorliegende Arbeit wurde die Prozessidentifikation in Form von Beobachtungen durch baustellenexterne Beobachter durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgte im Rahmen von Studienarbeiten. Studenten waren in der Phase des Kappenbaus täglich auf der jeweiligen Baustelle und haben jeden Arbeitsschritt dokumentiert. Sie haben die Arbeiten zusätzlich im Foto festgehalten. Für jeden Arbeitsschritt wurde detailliert aufgenommen,

- welcher Arbeitsschritt ausgeführt wurde,
- wie viele Arbeiter an diesem Arbeitsschritt beteiligt waren,
- welche Maschinen eingesetzt wurden,
- wie lange die Ausführung gedauert hat,
- welche Abhängigkeiten von diesem zu anderen Arbeitsschritten bestanden und
- ggf. welche Beschleunigungsmaßnahmen durchgeführt wurden.

Verifiziert wurden die Beobachtungen in der zeitnahen Diskussion mit der Bauleitung.

Für spätere Untersuchungen wurde außerdem die vollständige Baustellendokumentation der Bauleitung gesichert. Die Dokumentation wurde auf den Baustellen der Hörseltal- und Böbertalbrücke im Wartburgkreis sowie der Ilmtalbrücke im Ilmkreis durchgeführt.

2.2.1 Hörseltalbrücke

Im Streckenabschnitt zwischen der Landesgrenze Hessen/Thüringen und der Anschlussstelle Gotha waren an der BAB 4 umfangreiche Neu- und Ausbaumaßnahmen notwendig, welche im Rahmen eines PPP-Projektes umgesetzt wurden. Ein Bestandteil des Projektes war die Umfahrung der Hörselberge im Bereich Eisenach (siehe Abbildung 7).

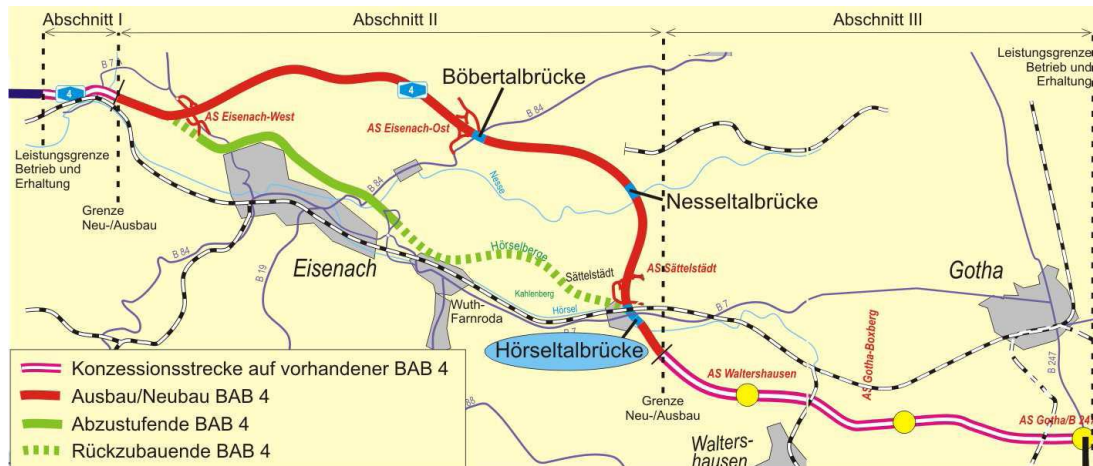


Abbildung 7: Übersichtskarte „A4 Hörselberge“ [90]

Die Hörseltalbrücke bei Sättelstädt (siehe Abbildung 8) ist eine von drei Talbrücken, die im Rahmen der Baumaßnahme „Umfahrung der Hörselberge“ neu errichtet wurde. Die 12-feldrige Spannbetonbrücke hat eine Gesamtlänge von 422 m und zwei getrennte Überbauten. Sie überspannt das Hörseltal, zwei Wirtschaftswege, die zweigleisige Bahnstrecke Halle-Guntershausen, die Bundesstraße B7 sowie den Fluss Hörsel [90].



Abbildung 8: Hörseltalbrücke [89]

2.2.2 Böbertalbrücke

Die Böbertalbrücke ist ebenfalls ein Teilprojekt der Umfahrung der Hörselberge. Die dreifeldrige Brücke ist mit 200 m Länge deutlich kürzer als die Hörseltalbrücke. Die Stahlverbundbrücke überquert das Böbertal, den Böberbach und die Bundesstraße B 84 Eisenach-Bad Langensalza in der Nähe von Großlupnitz.

Abbildung 9 zeigt die Böbertalbrücke in der Bauphase.



Abbildung 9: Böbertalbrücke [49]

2.2.3 Ilmtalbrücke

Bei der Ilmtalbrücke (Abbildung 10) handelt es sich um die größte der betrachteten Brücken und eines der Vorzeigeprojekte der Deutschen Bahn AG im Thüringer Wald. Die Brücke steht bei Langewiesen im Ilm-Kreis. Mit einer Länge von 1681 m und einer Pfeilerhöhe von 37,5 m gehört sie zu den spektakulären Bogen- bzw. Balkenbrücken aus Spannbeton, welche auf der Hochgeschwindigkeitsneubaustrecke Ebensfeld-Erfurt errichtet wurden [45] [20].

Abbildung 11 zeigt den Brückenquerschnitt mit der bahntypischen Ausbildung der Kappen.



Abbildung 10: Ilmtalbrücke bei Langewiesen

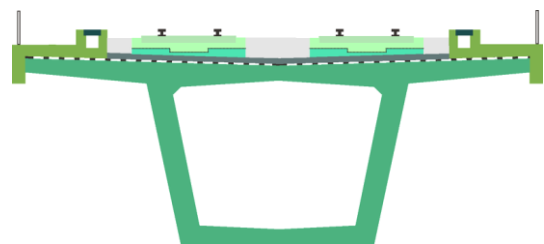


Abbildung 11: Querschnitt Ilmtalbrücke [91]

2.2.4 Bauprozess Brückenkappen

Der Herstellungsprozess der Brückenkappen kann in seinen groben Abläufen wie folgt beschrieben werden [90]. Die Herstellung erfolgte taktweise.

1. Begonnen wird mit den Vorarbeiten. Dazu gehören die Vermessung der Bau-Ist-Höhen, die Absteckung der Brückenkappen und die Überprüfung der Betondeckung des Überbaus.
2. Anhand der Rohbau-Ist-Höhen erstellt der Planer, sofern notwendig, eine Ausgleich- bzw. Ersatzgradienten, aus der die Soll-Höhen abgeleitet werden.
3. Je nachdem, ob die Ist-Höhen höher oder niedriger liegen als die Soll-Höhen, muss der Überbau abgefräst (Abbildung 12) oder eine Kratzspachtelung aufgetragen werden.
4. Im Bereich der Widerlager wird die Übergangskonstruktion eingebaut.
5. Es folgt das Kugelstrahlen zur Herstellung des Haftgrundes. Im Anschluss werden dessen Abreißfestigkeit und Rautiefe gemäß ZTV-ING [11] geprüft.
6. Darauf wird die Grundierung (Abbildung 13) aufgetragen und diese mit Quarzsand abgestreut.
7. Auf die Grundierung wird die Versiegelung aufgetragen. Auch deren Abreißfestigkeit wird nach dem Erhärten getestet.
8. Anschließend wird eine Bitumenschweißbahn aufgebracht (Abbildung 14), deren vollständige Verklebung mit Hilfe der Rasselprobe getestet wird. Im Bereich des späteren Schrammbords wird zur Verstärkung der Dichtungsschicht eine edelstahlkaschierte Schweißbahn verlegt.



Abbildung 12: Fräsvorgang [90]



Abbildung 13: Grundierung [90]



Abbildung 14: Verkleben der Schweißbahn [90]

9. Zum Abschluss der Dichtungsarbeiten wird eine Schutzlage aufgebracht, (Abbildung 15).
10. Unabhängig von den zuvor beschriebenen Vorgängen werden Kappenschalwagen für die Innen- und die Außenkappe errichtet. Zur Errichtung der Kappenschalwagen (Abbildung 16) gehören die Vormontage der Schienen, das Verlegen der Schienen, das Aufstellen und Ballastieren der Unterwagen, die Vor- bzw. Montage der Ausleger und Hängereinheiten sowie eine Abnahme und Freigabe.
11. Nach der Freigabe der Schalwagen wird die Bewehrung für einen Takt verlegt (Abbildung 17). Es können bereits Teile der Bewehrung parallel zu anderen Vorgängen vorgeflochten werden. Der Vorgang wird ebenfalls mit einer Abnahme abgeschlossen.
12. Danach werden die Schrammborde gesetzt und die Seitenränder der Kappe zugeschalt.
13. Nach der Bewehrungsabnahme erfolgen die Betonlieferung und das Betonieren, wobei der Beton verschiedenen Qualitätsprüfungen unterliegt.
14. Während der Aushärtezeit wird der Beton nachbehandelt.
15. Schließlich wird der Takt ausgeschalt.
16. Abschließend wird der Kappenschalwagen zum nächsten Taktabschnitt umgesetzt, und der Bauprozess wiederholt sich.



Abbildung 15: Verkleben der Schutzlage [90]



Abbildung 16: Montage Kappenschalwagen [90]



Abbildung 17: Bewehrung Kappe [90]

2.3 Ableitung der Erfassungsgrößen zur Bau-Ist-Bestimmung

Basierend auf der allgemeinen Erfassung des Bauprozesses wird nun eine Prozessstruktur entwickelt. Diese Prozessstruktur wird in Anlehnung an SMITH und BECKER [82], SAUER [77] und BUCHOP [9] formuliert. Sie wird Grundlage der weiteren Betrachtungen sein und dient der Überführung der Beobachtungen in eine analysierbare Datenbasis und ein simulationsfähiges Prozessmodell.

Für die reaktive Bauablaufplanung ist es wichtig, den aktuellen Status aller veränderlichen Bedingungen zu erfassen, welche zur Anpassung des Bauablaufes abgeprüft werden müssen. Ausgangspunkt für die vorliegende Arbeit ist die ereignisorientierte Bauprozesssimulation. Das heißt, wenn ein neues Ereignis eingetreten ist und sich somit die Randbedingungen geändert haben, muss gefragt werden, welche Vorgänge in der Folge gestartet werden können. Für alle Vorgänge, welche noch nicht gestartet sind, wird geprüft, ob die den Vorgängen zugeordneten Hard Constraints erfüllt sind. Die Grundlage für diese Prüfung sind verlässliche Daten über die aktuellen Randbedingungen.

2.3.1 Technologische Abhängigkeiten

Technologische Abhängigkeiten sind Hard Constraints. Sie spezifizieren die zwingend einzuhaltenden Reihenfolgebeziehungen zwischen den einzelnen Vorgängen.

Allen [2] definiert die in Abbildung 18 dargestellten Relationen, in denen zwei Vorgänge zueinander stehen können.

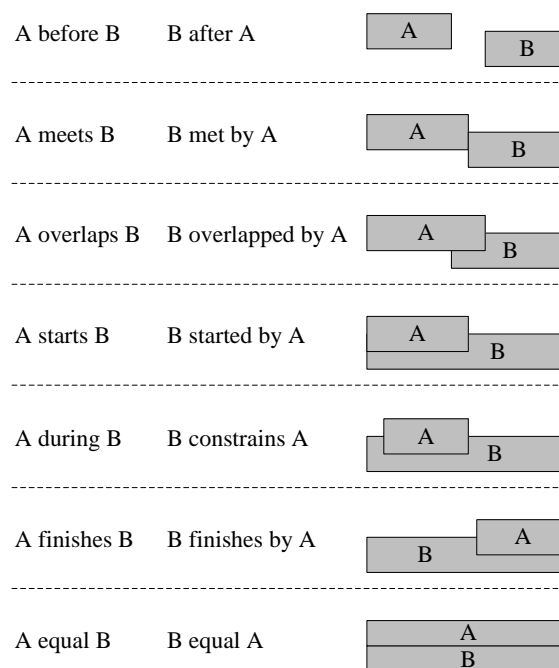


Abbildung 18: Die Relationen zwischen Intervallen [52]

Vorgänge können sowohl nacheinander als auch ganz oder teilweise parallel ausgeführt werden. Aus den Relationen lässt sich ableiten, dass Start- und Endzeitpunkt der Vorgänge erfasst werden müssen, aber auch definierte Zwischenzustände ermittelt werden. So kann es sein, dass ein Vorgang B gestartet werden kann, wenn ein Vorgang A eine bestimmte Zeit lang ausgeführt wurde oder ein definiertes Zwischenergebnis erzielt hat.

Die Vorgänge, welche zur Herstellung eines Bauwerks ausgeführt werden müssen, können anhand der Zerlegung des Bauprojektes in dessen Herstellungsprozesse spezifiziert werden. Zur Herstellung können verschiedene Bauabläufe umgesetzt werden. Der Bauablauf gibt an, welche Vorgänge zur Herstellung des jeweiligen Bauteils ausgeführt werden müssen (vgl. [6]).

Die Brückenkappe wurde in die in Abbildung 19 dargestellten Bauteile gegliedert. Anhand der Feldstudien wurden die Vorgänge herausgearbeitet, welche zur Herstellung notwendig sind.

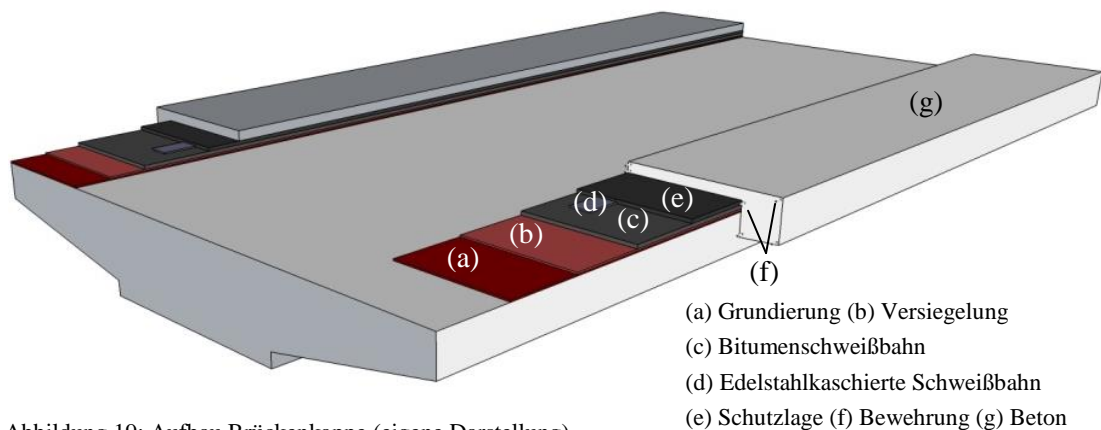


Abbildung 19: Aufbau Brückenkappe (eigene Darstellung)

Um weitere Erkenntnisse aus den Feldstudien, also mögliche alternative Bauabläufe, deren Vorgänge und deren Bedingungen abzubilden, wurde eine ereignisgesteuerte Prozesskette gewählt.

Vorgänge können den Status *waiting* (nicht gestartet), *progressing* (gestartet) oder *completed* (abgeschlossen) annehmen.

$$A^9 = \{a_1, \dots, a_n\} \text{ mit } a_i = (s) \quad D_s := \{\text{waiting, progressing, completed}\}$$

Zur eindeutigen Beschreibung des aktuellen Baufortschrittes müssen alle Vorgänge erfasst werden, welche gestartet ($a_i = \text{progressing}$) bzw. abgeschlossen wurden ($a_i = \text{completed}$). Aus diesen Informationen lässt sich bestimmen, welche Vorgänge noch nicht gestartet wurden. Für die kann dann geprüft werden, ob alle Randbedingungen erfüllt sind und somit ein Start möglich ist.

⁹ Die Vorgänge werden mit der Kurzbezeichnung An bezeichnet. Die Bezeichnung wurde in Anlehnung an die englische Sprache gewählt. Vorgänge werden mit A wie activity, dem englischen Wort für Vorgang abgekürzt.

Zwischenzustände müssen anhand des konkreten Vorgangs problemspezifisch definiert werden. Sie können durch eine Teilung des Vorgangs beschrieben werden. Durch die Teilung wird ein Ereignis eingeführt, welches anzeigt, dass der Zwischenzustand eingetreten ist. Dieses Ereignis kann dann erfasst werden.

Zeitliche Abhängigkeiten können durch die Bedingung „Vorgang B kann n Stunden nach Vorgang A starten“ berücksichtigt werden.

Vorgänge werden mit Hilfe von Personal- und Maschinenressourcen ausgeführt.

Die Erfassung der Ressourcen dient der Beschreibung des Bestandes an Arbeitsmitteln und Materialien, auf die durch Vorgänge zugegriffen werden kann. Die Ressourcen beschränken die Anzahl an Vorgängen, welche zeitgleich ausgeführt werden können. Ressourcen weisen verschiedene Eigenschaften auf, auf welche die Erfassung abgestimmt werden muss.

In Anlehnung an BEIBERT [6] werden die Ressourcen Personal, Material und Maschinen/Geräte wie folgt beschrieben.

2.3.2 Constraint Personalressourcen

Mit Hilfe des Constraints Personalressourcen wird geprüft, ob eine ausreichende Anzahl an Arbeitern, welche für die Tätigkeit qualifiziert sind, zur Ausführung des Vorgangs zur Verfügung steht.

Personalressourcen (RP) sind die Menge der zur Verfügung stehenden Arbeiter auf einer Baustelle. Arbeiter sind wiederverwendbare Ressourcen. Sie können einem Vorgang nur exklusiv zugeordnet werden, d. h. sie stehen immer nur einem Vorgang zur Verfügung, bis dieser abgeschlossen ist. Nach Abschluss des Vorgangs wird die Ressource wieder freigegeben und kann einem neuen Vorgang zugeordnet werden. Somit kann eine Personalressource den Status *available*¹⁰ (verfügbar) oder *not available* (nicht verfügbar) annehmen.

$$D_s := \{\text{available}, \text{not available}\}$$

Weiterhin müssen die unterschiedlichen Qualifikationen der Arbeiter beschrieben werden, denn nicht jeder Arbeiter kann jeden Vorgang ausführen. Deshalb wird eine Menge an Qualifikationen definiert und den Personalressourcen zugewiesen.

$$Q = \{q_1, \dots, q_m\}$$

$$RP = \{rp_1, \dots, rp_n\} \text{ mit } rp_i = (s, q)$$

¹⁰ „Available“ beschreibt in diesem Falle nicht die generelle Verfügbarkeit, sondern ob eine Ressource bereits durch eine Aktivität gebunden ist.

Daraus kann abgeleitet werden, dass erfasst werden muss, welche Anzahl an Arbeitern je Qualifikation auf der Baustelle sind und ob der jeweilige Arbeiter gerade einem Vorgang zugewiesen (und damit nicht verfügbar) oder „available“ ist.

Die Abfrage würde also lauten:

- Ist zu diesem Zeitpunkt ein Arbeiter mit der erforderlichen Qualifikation vorhanden?
- Ist zu diesem Zeitpunkt der Status des entsprechend qualifizierten Arbeiters „available“?

Wenn die Bedingungen erfüllt sind, dann wird der Arbeiter dem Vorgang exklusiv zugewiesen und sein Status für die Dauer des Vorgangs für andere Abfragen auf „not available“ gesetzt.

2.3.3 Constraint Geräteressourcen

Weiterhin muss geprüft werden, ob eine ausreichende Menge an Maschinen zur Verfügung steht, welche den Vorgang ausführen können.

Geräteressourcen RG sind die Menge der Maschinen und Geräte, die auf der Baustelle zur Verfügung stehen. Bei Geräteressourcen handelt es sich um wiederverwendbare Ressourcen, welche exklusiv einem Vorgang zugeordnet werden.

Geräteressourcen können durch ihren Status, „available“ (verfügbar) oder „not available“ (nicht verfügbar), und ihre Kapazität eindeutig gekennzeichnet werden.

$$D_s := \{\text{available}, \text{not available}\}$$

Wenn eine Geräteressource einem Vorgang zugeordnet wird, dann wechselt ihr Status bis zum Abschluss des Vorgangs auf „not available“.

Für jeden Vorgang ist hinterlegt, welche Maschinenfunktion für die Ausführung des Vorgangs notwendig ist.

$$F = \{f_1, \dots, f_m\}$$

Weiterhin sind Geräteressourcen Eigenschaften zuzuweisen, welche das Einsatzspektrum der Maschine genauer definiert. Ein Beispiel wäre die Auslegerlänge eines Kranes oder das maximale Ladegewicht eines LKW.

$$E = \{e_1, \dots, e_m\}$$

$$RG = \{rg_1, \dots, rg_n\} \text{ mit } rg_i = (s, f, e)$$

Funktionen, Eigenschaften und Kapazität sind problemspezifisch zu definieren.

Die Abfrage würde also lauten:

- Ist zu diesem Zeitpunkt eine Maschine mit der erforderlichen Funktion bzw. den erforderlichen Eigenschaften vorhanden?

- Ist zu diesem Zeitpunkt der Status der entsprechenden Maschine „available“?

Das Problem, dass mehrere Vorgänge kumulativ auf eine Maschine zugreifen, kann durch eine Teilung der Vorgänge gelöst werden.

2.3.4 Constraint Materialressourcen

Materialressourcen (RM) sind die Menge der dem Bauablauf zur Verfügung stehenden Materialien. Die Ressourcen können Verbrauchsressourcen sein, d. h. sie können nur einmalig durch einen Vorgang genutzt werden. Sie können auch Mehrwegmaterialien sein, wenn sie durch mehrere Vorgänge nacheinander genutzt werden. Für jeden Vorgang ist hinterlegt, welche Materialien und welche Menge des jeweiligen Materials für deren Ausführung benötigt werden. Insofern muss, bevor ein Vorgang starten kann, geprüft werden, ob alle notwendigen Materialressourcen in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. Wenn ein Vorgang gestartet wird, dann werden die verfügbaren Materialmengen um die durch den Vorgang genutzten Materialmengen reduziert.

Es wird eine Menge an Materialtypen definiert und den Materialressourcen zugewiesen.

$$T = \{t_1, \dots, t_m\}$$

Weiterhin wird den Materialressourcen eine Materialmenge zugewiesen. Die Definition der Mengen ist materialtypspezifisch auszuarbeiten.

$$M = \{m_1, \dots, m_m\}$$

$$RM = \{rm_1, \dots, rm_n\} \text{ mit } rm_i = (t, m)$$

Die Abfrage würde also lauten:

- Ist zu diesem Zeitpunkt ein bestimmter Materialtyp vorhanden?
- Ist dieser Materialtyp zu diesem Zeitpunkt in einer Menge \geq der angefragten Menge vorhanden.

Wenn die Bedingung erfüllt ist, dann wird das Material dem Vorgang zugewiesen und steht zu keinem Zeitpunkt mehr zur Verfügung. Daraus kann abgeleitet werden, dass für jeden Materialtyp die zum betrachteten Zeitpunkt vorhandene Menge erfasst werden muss.

In der vorliegenden Arbeit wird die Baustellenfläche nicht als beschränkte Ressource betrachtet. Die Erfassung der räumlichen Voraussetzungen für die Ausführung eines Vorgangs wird nicht angestrebt. Das Themengebiet wird parallel zur vorliegenden Arbeit von ELMAHDI an der Bauhaus-Universität Weimar bearbeitet [4].

2.3.5 Wetter

Eine wichtige Bedingung für die Ausführbarkeit von Vorgängen kann das Wetter sein. Als Wetterbedingungen definiert LE HONG [54] Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Niederschlag. LE HONG beschreibt drei mögliche Auswirkungen der Wetterbedingungen auf den Bauablauf: (1) ein Vorgang kann nicht ausgeführt werden, (2) Maschinen und Geräte können nicht eingesetzt werden und (3) die Ausführungszeit wird verlängert.

Die Betrachtung von Bedingungen, welche sich aus Wetterbedingungen ergeben, macht eine Auswertung von Prognosedaten notwendig. Für die Planung und Optimierung des weiteren Bauablaufes sind nur in begrenztem Umfang aktuelle Wetterdaten nutzbar. Vielmehr ist das zukünftige Wetter von Interesse, um bestimmen zu können, ob ein Vorgang ausführbar sein wird oder nicht. Insofern stellt die Betrachtung von Wetterbedingungen keinen Gegenstand der Bau-Ist-Erfassung, sondern ein eigenes Forschungsfeld dar. An dieser Stelle sei deshalb auf die Forschungsarbeit von LE HONG verwiesen, die derzeit ebenfalls an der Bauhaus-Universität Weimar bearbeitet wird. In der vorliegenden Arbeit wird nur auf Wetterdaten eingegangen, wenn die Dauer eines Vorgangs von der Außentemperatur abhängt. Das betrifft bei dem Beispiel der Brückenkappe die Aushärtungsprozesse der Grundierung bzw. der Versiegelung.

3 Informationsstützstellen

Eine Erfassung und Abbildung aller Vorgänge und Ereignisse ist aufwendig. Bereits bei dem Beispiel der Brückenkappe, welches nur ein Ausschnitt aus dem Gesamtprozess ist, müsste der Status von über 150 verschiedenen Vorgängen bis zum Anschluss des ersten Taktes mit Hilfe von Bau-Ist-Daten identifiziert werden. Insofern stellt sich die Frage, wie detailliert ein Modell aufzubauen ist und welche Daten tatsächlich erfasst werden müssen. Welche Informationen müssen über den Bauablauf erfasst werden, um den Bauablauf hinreichend genau in einem Simulationsmodell abbilden zu können?

3.1 Prozessstrukturierung

Ziel des Kapitels ist die Definition von Informationsstützstellen. In diesem Zusammenhang wird der Begriff der Stützstellen in Analogie zur analytischen Algebra übernommen. Dort kann der genaue Verlauf der Kurve bestimmt werden, wenn die grundsätzliche Charakteristik und ausreichend viele diskrete Punkte bekannt sind. Hier wird methodisch vorbereitet, dass die zuverlässige und zutreffende Bestimmung einer ausreichenden Anzahl geeigneter Zustandsinformationen sicher auf das vollständige Gesamtbild des Ist-Zustands schließen lässt. Diese Zustandsinformationen werden als Stützstellen für die Abbildung des Bau-Ist-Zustands bezeichnet. Welche Informationen und in welcher Dichte die Informationen erfasst werden müssen, ist hierbei herauszuarbeiten.

Anhand signifikanter Stützstellen kann ein ausreichend realistisches Abbild des Bauprozesses nachgezeichnet werden. Um die Informationsstützstellen zu identifizieren, werden die folgenden Aspekte hinsichtlich des Detaillierungsgrades der Prozessabbildung betrachtet:

- Zusammenfassung der Vorgänge zu Teil- und Hauptprozessen unter Berücksichtigung der Anforderungen eines Simulationsmodells,
- Abstimmung auf bautechnologische Anforderungen und
- Abstimmung auf eine Taggenaue Erfassungsstrategie.

Ein Prozess ist durch Input, Transformation und Output bestimmt. Neben der horizontalen Strukturdimension beschreibt BUCHOP [9] auch eine vertikale Dimension, welche den Detaillierungsgrad, also den Auflösungsgrad der Prozessdarstellung wiedergibt, (Abbildung 20).

Die Ereignisse in den EPK entsprechen dem Prozessinput bzw. -output, und die Vorgänge bewirken Transformationen.

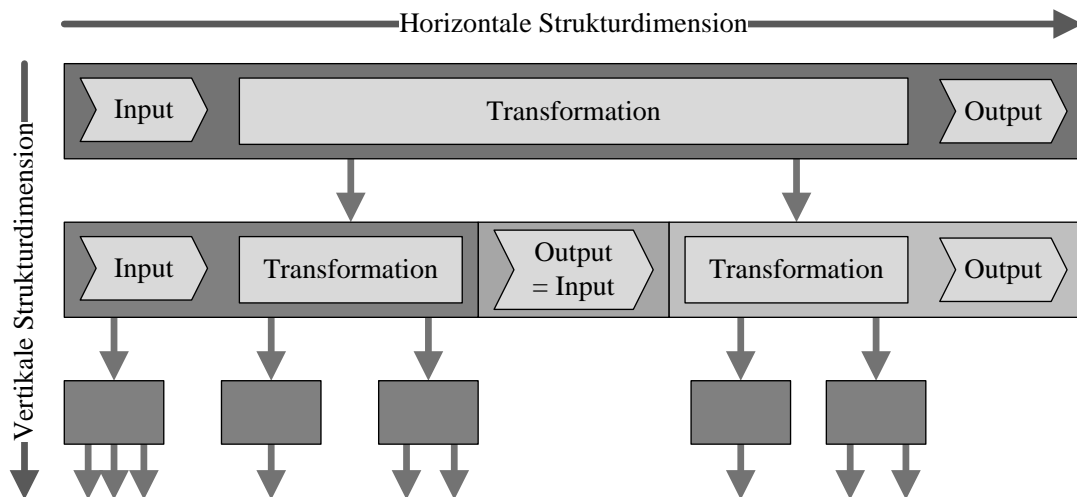


Abbildung 20: Horizontale und vertikale Strukturdimension von Prozessen [9]

Die einzelnen Vorgänge zur Herstellung einer Brückenkappe wurden detailliert erfasst. Die Prozesse in dieser Arbeit wurden davon abgeleitet so detailliert beschrieben, dass sie aus je einem Vorgang und einem Ereignis bestehen. Es folgt eine Zusammenfassung zu Prozessen, welche mehrere Vorgänge und Ereignisse umfassen können. Die dazu angewendeten Kriterien werden im Folgenden hergeleitet. Sie sind so eng gefasst, dass kein Kontrollverlust entsteht. Es werden zwar Informationen über Zwischenzustände vergeben, die Zwischenzustände unterliegen jedoch festen Ablauffolgen, so dass keine Ablaufvariationen möglich sind.

3.1.1 Gliederung in Teil- und Hauptprozesse

In einem ersten Schritt erfolgt die Zusammenfassung der bisher beschriebenen Vorgänge und Ereignisse in Teil- und Hauptprozesse. Von BUCHOP [9] wird die Strukturierung in Teil- und Hauptprozesse übernommen. Während BUCHOP diese Struktur nutzt, um einen Hauptprozess in Teilprozesse zu untergliedern (siehe Abbildung 20), werden in dieser Arbeit Vorgänge und Ereignisse zu Teil- und Hauptprozessen zusammengefasst. Die Modellbildung erfolgt nach dem Bottom-up-Prinzip. Von der detaillierten Beschreibung individueller Teilprozesse wird durch Verdichten auf einen allgemeineren, idealisierten Hauptprozess geschlossen.

„Ein Prozess besitzt nicht nur die eben geschilderte horizontale, sondern auch eine vertikale Strukturdimension, den Prozessauflösungsgrad, der den Detaillierungsgrad der Prozessdarstellung widerspiegelt. So kann ein Prozess in Hauptprozesse untergliedert werden und diese

wiederum in Teilprozesse. Letztere können noch weiter in Aktivitäten unterteilt werden. Sowohl die Prozessabgrenzung als auch der Prozessauflösungsgrad sind definitorisch nicht festgelegt, sondern unterliegen dem subjektiven Zweckermessen des Betrachters – sie sind folglich abhängig von der jeweiligen Zielsetzung“ [9].

Verdeutlicht werden die Zusammenhänge zwischen Vorgängen, Ereignissen, Teil- und Hauptprozessen in Abbildung 21.

Vorgang	Ereignis	Vorgang	Ereignis	Vorgang	Ereignis	Vorgang	Ereignis	Vorgang	Ereignis
Teilprozess		Teilprozess		Teilprozess		Teilprozess		Teilprozess	
Hauptprozess				Hauptprozess					
Gesamtprozess									

Abbildung 21: Gliederung der Prozessbestandteile (eigene Darstellung)

Folgende Kriterien werden nun für die Zusammenfassung der Vorgänge zu Teilprozessen aufgestellt:

Teilprozesse

- Ein Teilprozess muss nicht zwangsläufig aus nur einem Vorgang und einem Ereignis bestehen. Vorgänge, welche direkt nacheinander erfolgen müssen und für die es keine alternative Vorgehensweise gibt, können in einem Teilprozess zusammengefasst werden.
- Innerhalb des Teilprozesses existieren keine Reihenfolgevariationen. Deshalb ist eine eindeutige Dauer zuordenbar.¹¹
- Ressourcen und Zeiten müssen den einzelnen Teilprozessen eindeutig zuordenbar sein. Sofern Anzahl oder Art der für die Ausführung des Prozesses notwendigen Ressourcen veränderlich sind, muss der Prozess in weitere Teilprozesse untergliedert werden.
- Die Einsatzzeit muss einer Ressource eindeutig zuordenbar sein. Das ist notwendig, da sonst im späteren Simulationsmodell keine eindeutige Zuordnung der Ressourcen zu den Teilprozessen erfolgen kann.

Beispiel Teilprozess

Die einzelnen Vorgänge und Ereignisse (siehe Tabelle 2), die zur Bestimmung der Abreißfestigkeit notwendig sind, wurden in einem Teilprozess zusammengefasst. Die Zusammenfassung kann erfolgen, da die Vorgänge in einer festen Abfolge ausgeführt werden. Variationen des Ablaufes sind nicht möglich. Die notwendigen Ressourcen werden zusammenhängend antransportiert und bereitgestellt.

¹¹ Diese Annahme betrachtet keine Schwankungen in der Ausführungsdauer einzelner Vorgänge und geht von konstanten Kapazitäten aus.

Ziel ist es, nur den Status des Teilprozesses zu bestimmen und nicht den Status der einzelnen Vorgänge, aus denen sich der Teilprozess zusammensetzt, um somit den Erfassungsaufwand auf das notwendige Maß zu reduzieren.

Die Zusammenfassung wurde für den gesamten Prozess vorgenommen (siehe Anlage 4).

Tabelle 2: Beispiel Teilprozess¹²

	Ebene Vorgänge		Ebene Teilprozess		
A _{80,1}	Löcher vorbohren	}	Teilprozess 80	A ₈₀	Bestimmung Abreißfestigkeit
E _{80,1}	Löcher gebohrt			E ₈₀	Abreißfestigkeit bestimmt
A _{80,2}	Kleber anmischen				
E _{80,2}	Kleber gemischt				
A _{80,3}	Bohrlöcher reinigen				
E _{80,3}	Bohrlöcher gereinigt				
A _{80,4}	Stempel aufsetzen				
E _{80,4}	Stempel aufgesetzt				
A _{80,5}	Kleber Aushärten lassen				
E _{80,5}	Kleber ausgehärtet				
A _{80,6}	Haftzuggerät anstecken				
E _{80,6}	Haftzuggerät angesteckt				
A _{80,7}	Haftzugversuch				
E _{80,7}	Haftzugversuch durchgeführt				
A _{80,8}	Protokoll erstellen				
E _{80,8}	Protokoll erstellt				

Die Zusammenfassung der Teilprozesse in Hauptprozesse dient der logischen Ordnung des Gesamtprozesses. Gemäß der Gliederung in Hauptprozesse könnten Simulationsbausteine aufgebaut werden. Die folgenden Kriterien wurden für die Zusammenfassung von Teilprozessen zu Hauptprozessen aufgestellt.

Hauptprozesse

Hauptprozesse werden als Menge von Teilprozessen definiert, welche in einem besonders engen logischen Zusammenhang zueinander stehen. Dies sind

- mehrere Teilprozesse, für die in sich schlüssige Ablaufvarianten existieren,
- aufeinanderfolgende Teilprozesse, die durch ein einzelnes Gewerk ausgeführt werden,

¹² Die Vorgänge sind mit der Kurzbezeichnung A_n und die Ereignisse mit der Kurzbezeichnung E_n markiert. Der Zusammenhang zwischen Vorgang und Ereignis ist durch gleiche Nummern gegeben.

- Teilprozesse, die sich später zusammengenommen auf andere Bauprozesse übertragen lassen (zum Beispiel Herstellung eines Stahlbetonbauteils oder Schalungsbau).

Innerhalb eines Hauptprozesses können Reihenfolgevariationen für die Abfolge der Vorgänge existieren. Bspw. können Vorgänge oder Teilprozesse innerhalb des Hauptprozesses parallel oder aufeinanderfolgend ausgeführt werden. Deshalb kann einem Hauptprozess nicht immer eine eindeutige Dauer zugeordnet werden.

Die Zusammenfassung zu Hauptprozessen dient der logischen Vorbereitung der Programmierung von Bausteinen. Tabelle 3 veranschaulicht beispielhaft die Zusammenfassung mehrerer Teilprozesse zum Hauptprozess „Betonieren“.

Tabelle 3: Beispiel Hauptprozess „Betonieren“

	Beschreibung Vorgänge und Ereignisse	Teilprozesse	Hauptprozess
A ₈₀₀	Beton – Bestellung	TP800	HP800 (Betonieren)
E ₈₀₀	Beton bestellt		
A ₈₁₀	Betonpumpe aufbauen	TP810	
E ₈₁₀	Betonpumpe aufgebaut		
A ₈₂₀	Beton – Lieferung	TP820	
A _{820,1}	Beton – Lieferung		
E _{820,1}	Beton angeliefert		
A _{820,2}	Beton – Prüfen		
E _{820,2}	Beton geprüft → Freigabe Beton		
E ₈₂₀	Beton geprüft → Freigabe Beton		
A ₈₃₀	Betonieren		
A _{830,1}	Betonieren		
E _{830,1}	betoniert		
A _{830,2}	Beton – Nachbehandlung/Einhaltung Ausschalfrist		
E _{830,2}	Beton – Nachbehandlung/Ausschalfrist abgeschlossen		
E ₈₃₀	betoniert		

3.1.2 Bautechnologische Strukturierung

Jeder Teilprozess wird in einem bestimmten Bereich der Brücke ausgeführt. Der Bereich wird mit Hilfe der Bezugsfläche definiert, deren Quer- und Längsausdehnung angegeben werden muss.

Die übergeordnete Strukturierung folgt dem Querschnitt. So kann die Bezugsfläche die Breite des gesamten Überbaus, der Innen- oder der Außenkappe abdecken. Die Kappen weisen

im Falle der Hörseltalbrücke unterschiedliche Breiten auf, was sich auf die Geometrie des Kappenschalwagens auswirkt. Außerdem sind Innen- und Außenkappen unabhängig voneinander herstellbar. Deshalb werden die Flächen getrennt nach Innen- und Außenkappen angegeben.

Im Längsschnitt wird die Brücke in Takte unterteilt. Denn im Regelfall werden linienförmige Bauteile wie die betrachtete Brückenkappe im Taktverfahren hergestellt. Das heißt, Teilprozesse werden auf eine meist bautechnologisch vorgegebene Länge begrenzt und so oft wiederholt, bis die Gesamtlänge erreicht ist. Einige Prozesse werden jedoch auch ohne Taktung, also über die gesamte Brückenlänge ausgeführt.

Somit können die Teilprozesse die Bezugsfläche

- des gesamten Überbaus (Gesamtbreite x Gesamtlänge),
- der gesamten Innen- bzw. gesamten Außenkappe (Kappenbreite x Gesamtlänge) oder
- eines Taktes der Innen- oder Außenkappe (Kappenbreite x Taktlänge) abdecken.

Für das Beispiel wurde in Anlehnung an die Hörseltalbrücke, wie in Abbildung 22 dargestellt, eine Taktlänge von 40 m gewählt. Die Taktlänge ist auf die Länge des Kappenschalwagens abgestimmt. Somit ergibt sich für das Beispiel bei einer Gesamtlänge von 445 m eine Anzahl von 11 Normaltakten und einem kurzen Endtakt mit einer Länge von 5 m.

In der Arbeit wird zur Vereinfachung hinsichtlich der Zeitannahmen immer von 12 Normaltakten ausgegangen. Die Annahme kann getroffen werden, da die Dauer der Vorgänge häufig unabhängig ist von der eigentlichen Taktlänge.

Überbau 1			Überbau 2				
AK		IK	IK		AK		
Takt 1		Takt 1	Takt 1		Takt 1	40m	445 m
Takt 2		Takt 2	Takt 2		Takt 2	40m	
Takt 3		Takt 3	Takt 3		Takt 3	40m	
Takt 4		Takt 4	Takt 4		Takt 4	40m	
Takt 5		Takt 5	Takt 5		Takt 5	40m	
Takt 6		Takt 6	Takt 6		Takt 6	40m	
Takt 7		Takt 7	Takt 7		Takt 7	40m	
Takt 8		Takt 8	Takt 8		Takt 8	40m	
Takt 9		Takt 9	Takt 9		Takt 9	40m	
Takt 10		Takt 10	Takt 10		Takt 10	40m	
Takt 11		Takt 11	Takt 11		Takt 11	40m	
Takt 12		Takt 12	Takt 12		Takt 12	5m	

Abbildung 22: Taktung

Die Strukturierung des Gesamtprozesses (wie bspw. Taktlängen) muss im Vorfeld festgelegt werden. Wenn sie später aufgrund von Störungen im Bauablauf geändert werden muss, ist die Änderung auch im Simulationsmodell zu übernehmen.

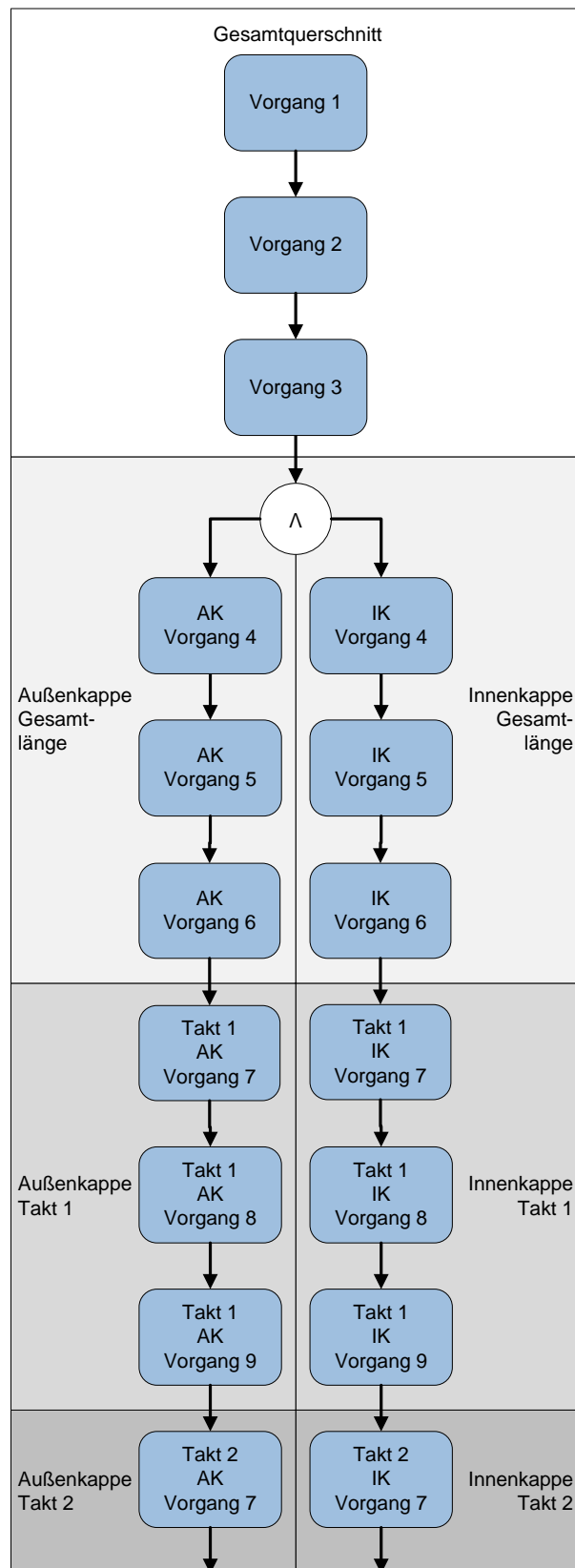


Abbildung 23: Auszug aus der bautechnologischen Prozessstrukturierung

Weiterhin müssen Prozesse, die zueinander Abhängigkeiten aufweisen, hinsichtlich ihrer Bezugsflächen aufeinander abgestimmt sein. Die Bezugsflächen zweier von einander abhängiger Prozesse können identisch sein. Das heißt, Prozesse decken die gleiche Taktfläche bzw. Kappenfläche ab oder die Bezugsflächen zweier von einander abhängiger Prozesse sind Teilmengen voneinander. Der Fall ist typisch für die Taktbauweise. Die Bezugsfläche des nachfolgenden Prozesses deckt nur eine Teilfläche des vorangegangenen Prozesses ab.

Der nachfolgende Prozess wird so lange wiederholt, bis die gesamte Bezugsfläche des vorangegangenen Prozesses abgedeckt ist (Abbildung 23). Die Vorgänge 4 bis 6 werden zweimal, d. h. einmal für die Außenkappe und einmal für die Innenkappe, ausgeführt. Die Vorgänge 7 bis 9 werden im Bereich jedes Taktes wiederholt.

Ebenso müssen Prozesse, welche keiner Taktung unterliegen, aber Voraussetzung sind für die Ausführung von getakteten Prozessen, auf die entsprechenden getakteten Prozesse abgestimmt werden. Ein Beispiel hierfür ist der Prozess „Bewehrungskörbe vorflechten“. Der Prozess kann zwar ohne Taktung abgearbeitet werden, wird aber vorzugsweise durchgeführt, wenn die entsprechenden Arbeiter nicht durch andere Vorgänge gebunden sind und „Pausen“ überbrücken müssen. Um eine eindeutige Zuordnung der Ressource „Bewehrungskorb“ im Simulationsmodell zu ermöglichen, wird auch dieser Prozess auf Taktgröße heruntergebrochen. So kann eindeutig bestimmt werden, ob mit dem Bewehrungseinbau für den aktuellen Takt begonnen werden kann, weil die Voraussetzung für den Prozess, eine ausreichende Menge an vorgefertigten Bewehrungskörben, erfüllt ist.

Durch folgende Einschränkungen sind die Ausführungen zur Prozessstrukturierung noch zu ergänzen: Die Taktung eines Prozesses muss auf die Folgeprozesse abgestimmt sein. Eine Taktung im Modell zu erfassen ist nicht notwendig, wenn weder Vor-, Parallel- noch die Folgeprozesse taktbar sind und der Prozess ohnehin im Ganzen abgearbeitet werden muss. Als Beispiel lässt sich hier der Teilprozess „Aufnahme Roh-Bau-Ist-Höhen“ anführen.

Der strukturierte Prozess ist tabellarisch abgebildet; einen Auszug zeigt Tabelle 4. Die Tabelle ist vollständig in Anlage 3 aufgeführt.

Tabelle 4: Auszug aus Prozessübersicht (vollständige Tabelle siehe Anlage 3)

Bezug	Nr. Vorgang / Ereignis	Inhalt	Teilprozess (TP)	Gesamtdauer TP	Leistung pro Tag	Dokument	Hauptprozess (HP)
Gesamtflächen IK + AK	Herstellung Ersatzgradiente						HP 5
	A ₅₀	Ersatzgradiente – Auswertung Höhendifferenzen Ist – Soll	TP 50	4h			
	E ₅₀	Ersatzgradiente – Soll-Lage hergestellt					
	Kugelstrahlen des Untergrundes						HP 6
	A ₆₀	Untergrund – Kugelstrahlen	TP 60	24h	8 Tak- te/Tag		
	E ₆₀	Untergrund kugelgestrahlt			Teilung in Tagesleis- tung nötig		
	Säuberung des Untergrundes vor Grundierung						HP 7
	A ₇₀	Kappenbereiche – Säuberung	TP 70	2h			
	E ₇₀	Kappenbereiche gesäubert					
	Prüfung des Untergrundes vor Grundierung						HP 8
	A ₈₀	Abreißfestigkeit Untergrund (AK und IK) – Bestimmung	TP 80	2h			
	A _{80,1}	Löcher vorbohren					
	E _{80,1}	Löcher gebohrt					
	A _{80,2}	Kleber mischen					
	E _{80,2}	Kleber gemischt	TP 80				HP 8
	A _{80,3}	Bohrlöcher reinigen					
	E _{80,3}	Bohrlöcher gereinigt					
	A _{80,4}	Stempel aufsetzen					
	E _{80,4}	Stempel aufgesetzt					
	A _{80,5}	Kleber Aushärten lassen					
	E _{80,5}	Kleber ausgehärtet					
	A _{80,6}	Haftzuggerät anstecken					
	E _{80,6}	Haftzuggerät angesteckt					
	A _{80,7}	Haftzugversuch					
	E _{80,7}	Haftzugversuch durchgeführt					
	A _{80,8}	Protokoll erstellen					
	E _{80,8}	Protokoll erstellt					
	E ₈₀	Abreißfestigkeit Untergrund be- stimmt →Vorgabewerte erreicht				Protokoll Ab- reißfestigkeit	

3.1.3 Taggenaue Erfassung

Die Mehrzahl der Prozesse, welche hier durch die Identifikation und detaillierte Strukturierung beschrieben wurden, weist eine Ausführungsdauer von weniger als acht Stunden auf. Die Fertigstellung dieser Prozesse wird somit entweder am Tag des Prozessbeginns oder am darauf folgenden Tag erfolgen. Bei einer verlangsamten Ausführung des Prozesses würde eine Verzögerung taggenau auffallen und im Simulationsmodell abgebildet. Die Annahme gilt unter der Maßgabe, dass die Erfassung täglich erfolgt.

Die Baufortschrittserfassung kann von einem realen Baufortschritt abweichen, wenn dem Prozess eine Bearbeitungsdauer von über acht Stunden zugrunde liegt. Da erst an dem Tag, an dem ein Prozess planmäßig enden soll, abgefragt wird, ob der Prozess abgeschlossen wurde, bleibt der Prozess zwischenzeitlich in der Baufortschrittserfassung unberücksichtigt. Sofern der Prozess zum Beispiel durch eine Kapazitätserhöhung beschleunigt und eher als geplant beendet wurde, würde der Prozess dennoch nicht als fertiggestellt erfasst. In der Folge würde das Prozessmodell von der Realität abweichen. Um das Problem zu lösen, werden im Folgenden die Prozesse betrachtet, deren Dauer größer als ein Arbeitstag (8 h) ist. Es wird analysiert, ob hier eine gesonderte Erfassung von Fertigstellungsgraden notwendig ist.

In Tabelle 5 sind alle Prozesse mit einer Bearbeitungsdauer aufgelistet und gruppiert, die einen Arbeitstag überschreitet. Es fällt auf, dass aufgrund der für dieses Beispiel gewählten hohen Detailgenauigkeit nur eine geringe Anzahl von Prozessen eine Bearbeitungsdauer von mehr als einem Arbeitstag aufweist. Deren Erfassung kann wie folgt vorgenommen werden.

Die Prozesse „Untergrund – Kugelstrahlen“, „Bitumenschweißbahn verkleben“ und „Schuttlage verkleben“ können bspw. durch Kapazitätsaufstockungen beschleunigt werden. Es wird daher eine Erfassung des Fertigstellungsgrades nach Taktlängen eingeführt.

Trocknungsprozesse wie die Prozesse „Grundierung – Aushärtung“, „Versiegelung aushärten“ und „Beton – Ausschallfrist“ können nicht durch Kapazitätssteigerungen beschleunigt werden. Für die Prognostizierung der Trocknungszeit und somit des Prozessendes muss die Temperatur erfasst werden.

Die Vormontageprozesse für den KSW-Ausleger und die Hängereinheiten werden je Kappen-seite einmal ausgeführt. Für deren Erfassung wird eine Abschätzung des prozentualen Fertigstellungsgrades durch den Bauleiter vorgenommen.

Der Prozess „Betonieren“ wird im Allgemeinen zeitlich so gesteuert, dass am Nachmittag und Abend betoniert sowie nachbehandelt und am nächsten Morgen ausgeschalt werden kann. Der Prozess „Bewehrung – einbauen“ muss demnach so angesteuert werden, dass die dem Bewehrungseinbau nachfolgenden Prozesse, welche dem Ausschalen vorausgehen, rechtzeitig vor dem Abend abgeschlossen sind. Dazu zählen die Prozesse Bewehrungsabnahme (ca. 0,5 h), Zuschalen (ca. 2 h), Betonieren (ca. 4 h) und Nachbehandlung (ca. 1,5 h).

Das heißt, dass am Morgen des Betoniertages maximal 2 h zur Verfügung stehen, um die Bewehrung fertigzustellen. Folglich müssen ca. 80 % des Bewehrungseinbaus am Vortag abgeschlossen sein. Da die zeitliche Steuerung des Prozesses „Bewehrung – einbauen“ wichtig ist und seine Ausführungsdauer mehr als 8 Arbeitsstunden beträgt, wird eine prozentuale Erfassung des Fertigstellungsgrades vorgenommen.

Der Prozess „Ausrichtung KSW“ kann nur bedingt beschleunigt werden, deshalb wird von einer festen Ausführungsdauer ausgegangen. Es wird nur der Abschluss des Vorgangs erfasst.

Der Prozess „Bewehrungskörbe vorflechten“ wird typischerweise nicht am Stück abgearbeitet. Vielmehr wird die Tätigkeit immer wieder genutzt, um Arbeitspausen, die sich aus dem Gesamtprozess ergeben, zu füllen. Das heißt, der Prozess wird häufig unterbrochen und unregelmäßig abgearbeitet. Vorgeflochtene Bewehrungskörbe sind die Voraussetzung für den Prozess „Bewehrung einbauen“, welcher vielfach wiederholt wird. Da jeweils eine feste Anzahl an Körben notwendig ist, um den Bewehrungseinbau eines Taktes starten zu können, wird eine tägliche Erfassung der neu fertiggestellten Körbe vorgeschlagen. Eine Zählung der Körbe erst am Vorabend vor dem Bewehrungseinbau würde den Erfassungsaufwand zwar minimieren, aber auch kostbare Reaktionszeit verschenken.

Der Prozess „Ersatzgradienten – Aufstellung“ ist ein externer Planungsprozess, welcher nicht dem Baustellencontrolling unterliegt. Deshalb wurde der Prozess aus der Betrachtung ausgeklammert.

Tabelle 5: Prozesse, deren Dauer > 1 AT ist.

Prozess- bezeichnung	Dauer	Bezugsfläche der Dauer	Beschleunigung möglich?
Untergrund – Ku- gelstrahlen	3 AT (4 Takte/ Tag)	AK + IK Gesamtlänge	Beschleunigung ist möglich, weil <ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschleunigung durch Kapazitätsaufstockung möglich. ▪ Erfassung von Fertigstellungsgraden, abgestimmt auf Taktlängen.
Bitumenschweiß- bahn verkleben	1,5 AT (8 Takte/ Tag)	AK oder IK Gesamtlänge	
Schuttlage verkleben	1,5 AT (8 Takte/ Tag)	AK oder IK Gesamtlänge	
Grundierung – Aushärtung	24 h bei 23°C bzw. 72 h bei 8°C	AK oder IK Gesamtlänge	Beschleunigung ist <u>nicht</u> möglich, weil <ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschleunigung der Trocknungszeit durch Kapazitätsaufstockung nicht möglich. ▪ Erfassung, wenn Prozess abgeschlossen ist. ▪ Erfassung der Temperatur.
Versiegelung aus- härten		AK oder IK Gesamtlänge	
Beton – Ausschalfrist	1,5 h (+ über Nacht)	AK oder IK je Takt	
KSW-Ausleger – Vormontage	4 AT	AK oder IK einmalig	Beschleunigung ist möglich, weil <ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschleunigung durch Kapazitätsaufstockung möglich. ▪ Erfassung von prozentualen Fertigstellungsgraden.
Hängereinheiten – Vormontage	6 AT	AK oder IK einmalig	
Bewehrung – ein- bauen	10 h	AK oder IK je Takt	
KSW – Ausrichtung KSW	2 AT	AK oder IK je Takt	Beschleunigung ist <u>nicht</u> möglich, weil <ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschleunigung durch Kapazitätsaufstockung nicht möglich. ▪ Erfassung, wenn Prozess abgeschlossen ist.
Bewehrungskörbe vorflechten	ca. 2 AT (0,5 Takte/Tag)	AK oder IK je Takt	Beschleunigung ist möglich, weil <ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschleunigung durch Kapazitätsaufstockung möglich. ▪ Erfassung von Fertigstellungsgraden, abgestimmt auf Taktlängen.

3.2 Beschreibung der zu erfassenden Daten

In Abschnitt 3.1 wurde der strukturierte Prozessablauf beschrieben. Seine Vorgänge wurden zu Teilprozessen zusammengefasst. Er spiegelt die Abarbeitung in Takten wider und ist auf die tägliche Erfassung des Baufortschrittes abgestimmt. Nun wird der Frage nachgegangen, welche Informationen für den jeweiligen Teilprozess erfasst werden müssen, um die für das Simulationsmodell notwendigen Daten zur Verfügung stellen zu können. Dazu werden die in Abschnitt 1.1 entwickelten Modellparameter mit dem in Abschnitt 3.1 beschriebenen Gesamtprozess verknüpft.

Tabelle 6: Zusammenfassung der Modellparameter

Modellparameter	Status	
Vorgänge A	$D_s := \{\text{waiting, progressing, completed}\}$	$A = \{a_1, \dots, a_n\}$ mit $a_i = (s)$
Personalressourcen RP	$D_s := \{\text{available, not available}\}$	$RP = \{rp_1, \dots, rp_n\}$ mit $rp_i = (s, q)$
▪ Qualifikation	$Q = \{q_1, \dots, q_m\}$	
Geräteressourcen RG	$D_s := \{\text{available, not available}\}$	$RG = \{rg_1, \dots, rg_n\}$ mit $rg_i = (s, f, e)$
▪ Funktion	$F = \{f_1, \dots, f_m\}$	
▪ Eigenschaften	$E = \{e_1, \dots, e_m\}$	
Materialressourcen RM	$D_s := \{\text{available, not available}\}$	$RM = \{rm_1, \dots, rm_n\}$ mit $rm_i = (t, m)$
▪ Typ	$T = \{t_1, \dots, t_m\}$	
▪ Menge	$M = \{m_1, \dots, m_m\}$	

In Tabelle 6 wurden die angesprochenen Modellparameter zusammengefasst. Daraus geht hervor, dass ein Vorgang drei Zustände annehmen kann. Er wurde entweder

- noch nicht begonnen („waiting“), oder
- begonnen und noch nicht abgeschlossen („progressing“) oder
- abgeschlossen („completed“).

Um den Status eines Vorgangs eindeutig zu beschreiben, ist es ausreichend, die zwei Zustände „progressing“ und „completed“ zu erfassen, da allen Vorgängen, welche keinen dieser beiden Zustände angenommen haben, der Status „waiting“ zugewiesen werden kann. Wie später dargestellt wird, ist die Vereinfachung eine der Grundlagen für ein übersichtliches Erfassungskonzept, da durch die Annahme der Status von Vorgängen und Ereignissen durch die Erfassung eines Zustandes eindeutig beschrieben werden kann.

Personal-, Geräte- und Materialressourcen können den Status „available“ bzw. „not available“ annehmen. Hierbei genügt die Erfassung des Zustandes „available“, da daraus folgend im negativen Fall auf den Zustand „not available“ geschlossen werden kann. Die Ressourcen müssen zusätzlich bspw. durch die Erfassung von Qualifikationen, Funktionen oder Typen spezifiziert werden.

Dieses Ziel führt zwangsläufig zu der Frage, zu welchem Zeitpunkt die Modellparameter erfasst werden müssen. Es wird zwischen der Beschreibung des Baufortschrittes der einzelnen Vorgänge und der Erfassung des Ressourcenbestandes unterschieden. Die Erfassung des Baufortschrittes dient primär der Erkennung von Zeitverzügen. Die Erfassung des Ressourcenbestands dient der Inventarisierung und Verifizierung kurz- und langfristiger Steuerungsmaßnahmen. Denn Steuerungsmaßnahmen können nur eingeleitet werden, wenn die notwendigen Ressourcen zur Verfügung stehen.

3.2.1 Vorgänge

Die Beschreibung des Bauablaufes erfolgt in Form von ereignisgesteuerten Prozessketten. Diese sind, wie in Abbildung 24 dargestellt, in Vorgänge und Ereignisse strukturiert. Der Eintritt eines Ereignisses zeigt an, dass der zugeordnete, vorangestellte Vorgang abgeschlossen ist. Ein Vorgang ist also abgeschlossen (Status „completed“), wenn das dem Vorgang zugeordnete Ereignis eingetreten ist (Status „occured“). Der Rückschluss wird eingeführt, da einem Ereignis häufig Dokumente, wie z. B. Protokolle, zugeordnet werden können. Die vollständige Prozesskette für den Bau einer Brückenkappe sowie der prinzipielle Aufbau von ereignisgesteuerten Prozessketten sind in Anlage 3 abgebildet.

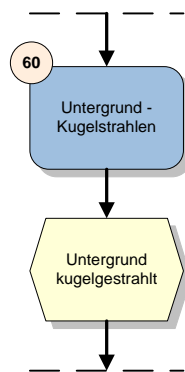


Abbildung 24: Beispiel für Vorgang und Ereignis

Bei Vorgängen, die ggf. eine Korrektur nach sich ziehen, wie die in Abbildung 25 dargestellte Durchführung der Rasselprobe, zeigt das zugeordnete Ereignis den erfolgreichen Abschluss des Vorgangs an. Sofern die Rasselprobe nicht sofort zu einem positiven Ergebnis gekommen ist, wird der Korrekturprozess so oft wiederholt, bis die Probe bestanden ist. Die Korrekturereignisse, welche eine nicht bestandene Prüfung nach sich zieht, sind in Tabelle 7 dunkelgrau hinterlegt.

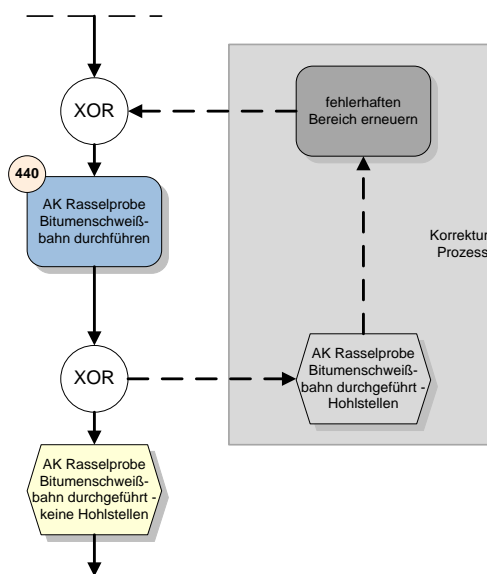


Abbildung 25: Beispiel für Vorgang und Ereignis mit Korrektur

Die folgenden vier Abbildungen zeigen einen Teil der EPK. Die vollständige EPK ist in Anlage 2 abgedruckt.

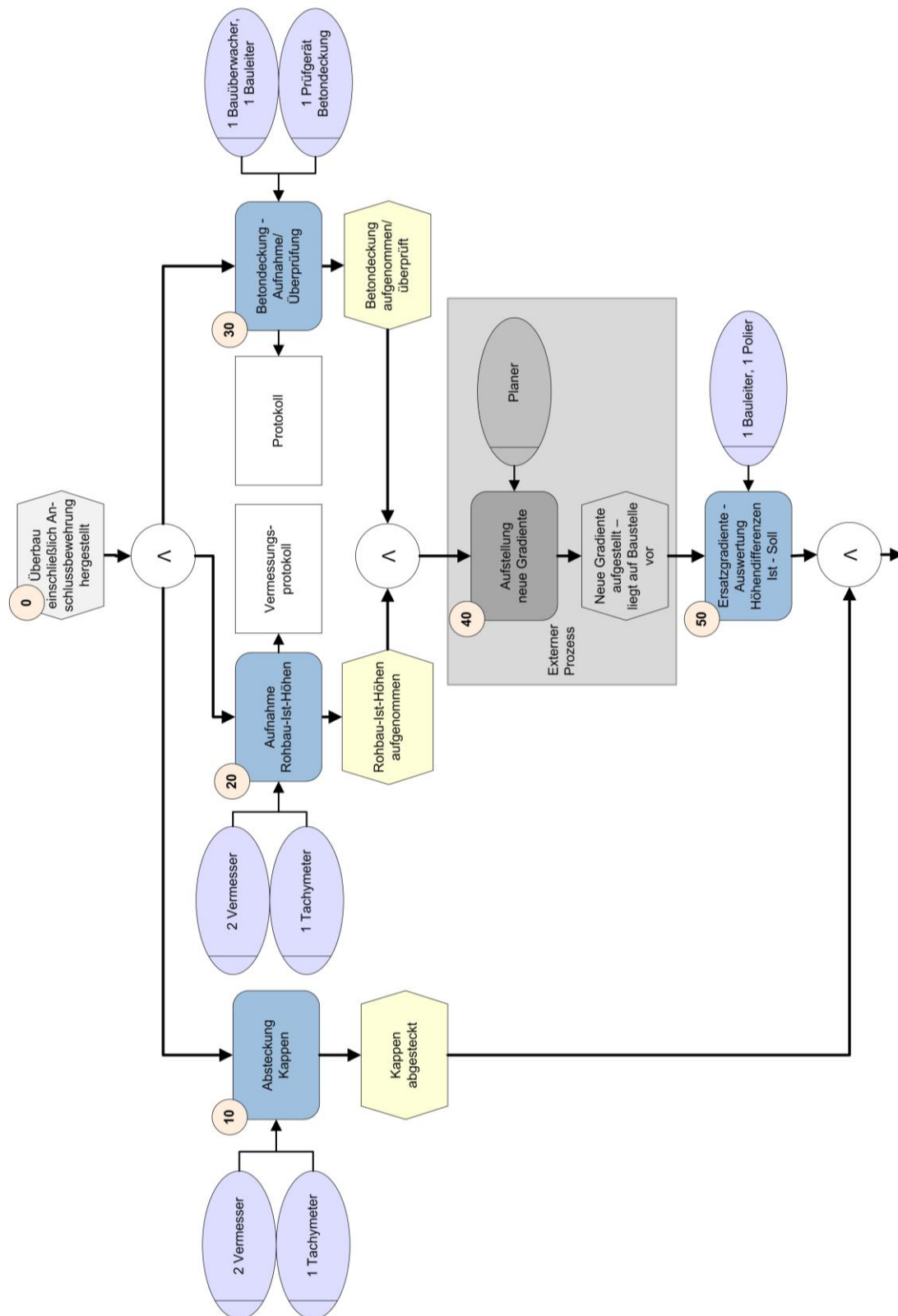


Abbildung 26: Ausschnitt EPK (Teil 1)

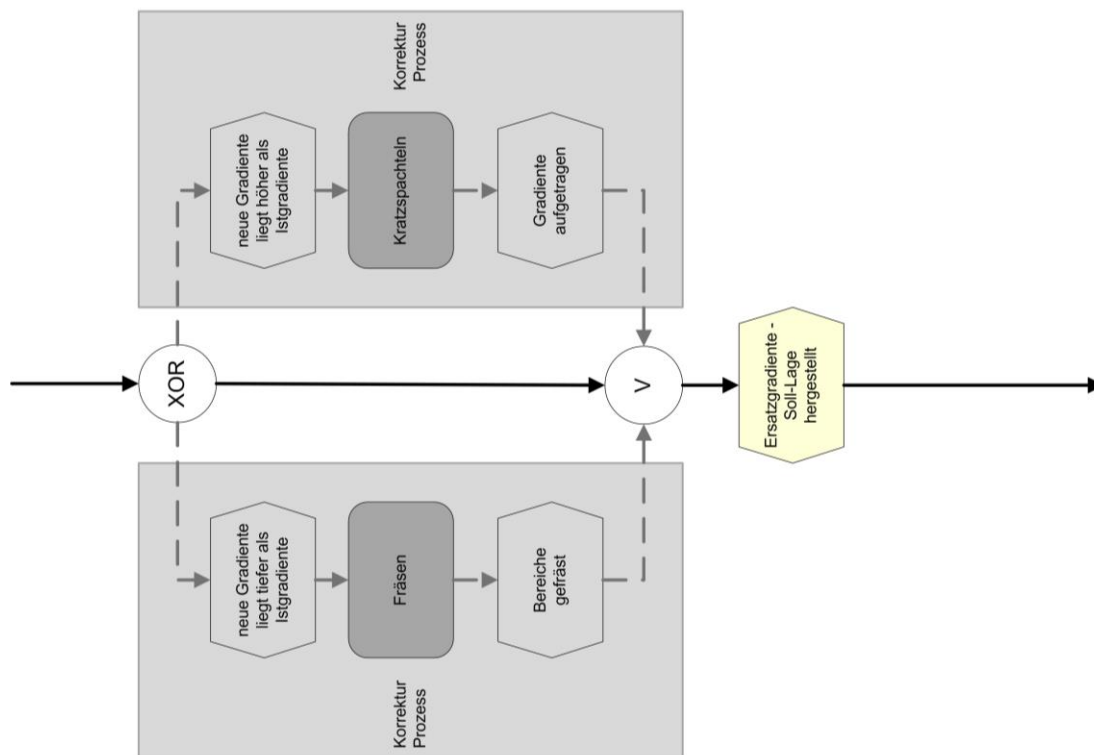


Abbildung 27: Ausschnitt EPK (Teil 2)

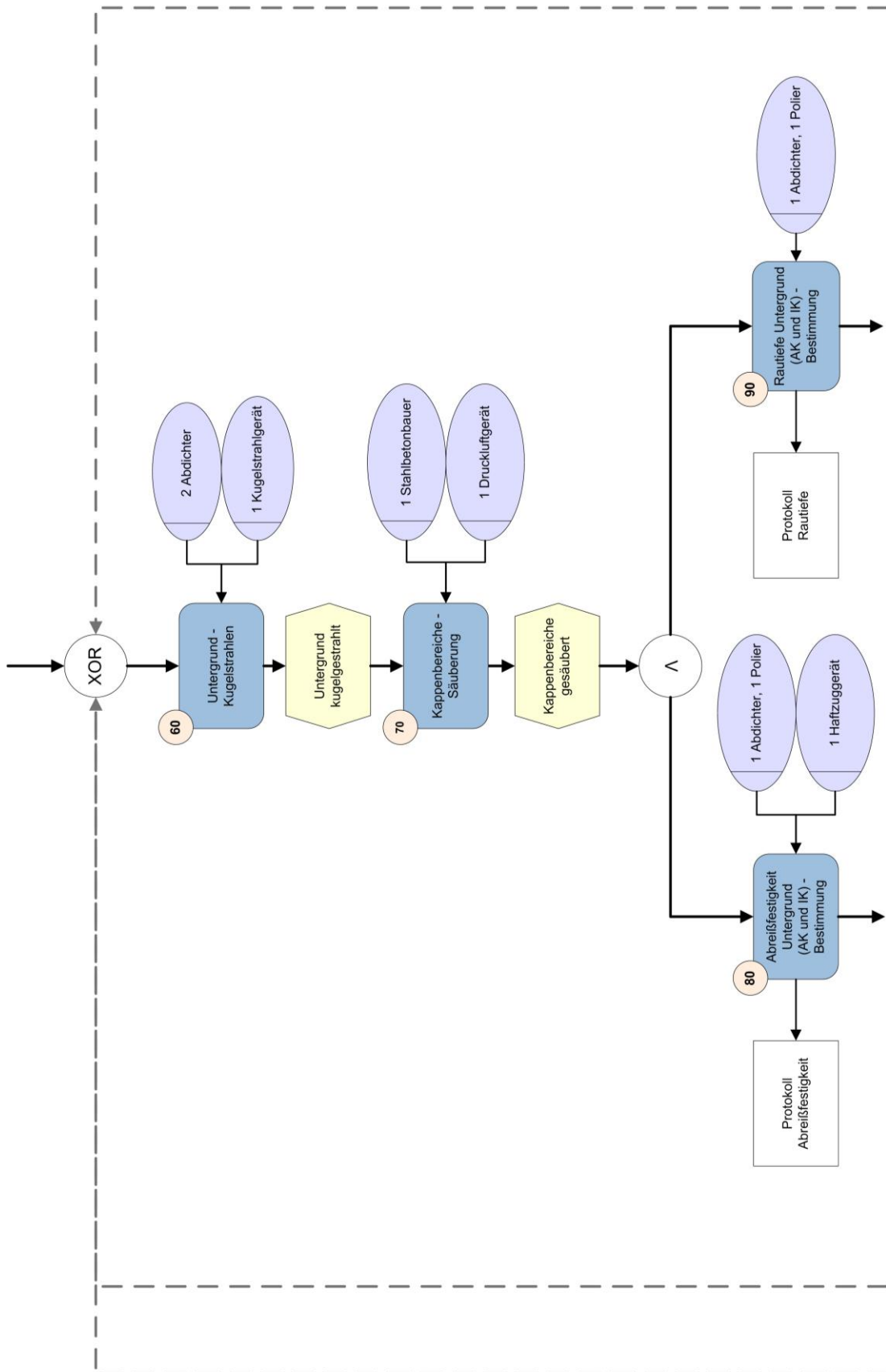


Abbildung 28: Ausschnitt EPK (Teil 3)

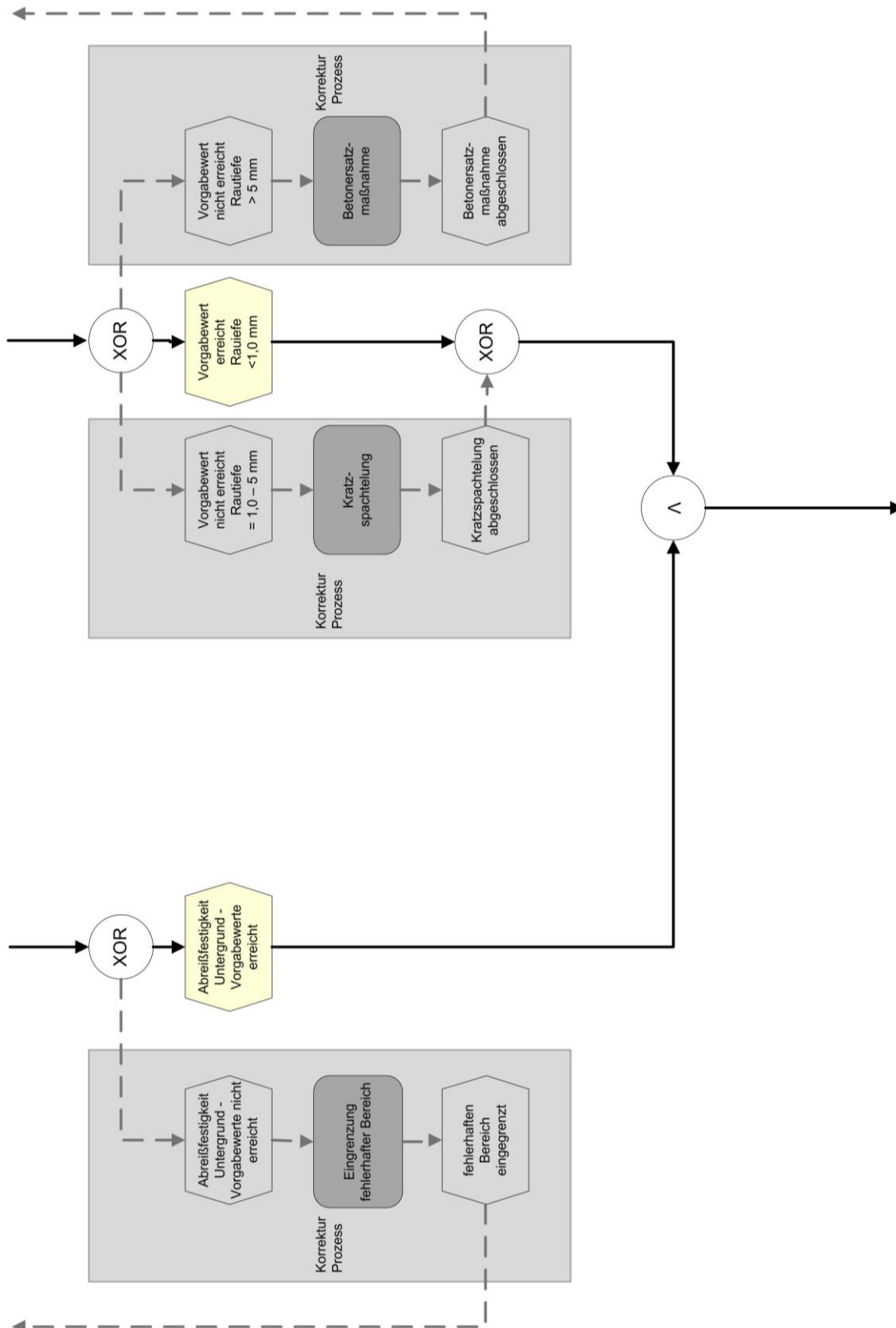


Abbildung 29: Ausschnitt EPK (Teil 4)

Tabelle 7 bildet einen Teil der Vorgänge und Ereignisse ab, die gemäß der Feldstudien zur Herstellung einer Brückenkappe notwendig sind. Eine vollständige Auflistung aller Vorgänge und Ereignisse ist in Anlage 2 ausgewiesen.

Für alle Vorgänge muss erfasst werden, wenn sie den Status „begonnen“ („progressing“) annehmen. Um den Abschluss der Vorgänge zu registrieren, wird ferner der Eintritt der Ereignisse erfasst.

Die Nummerierung der Vorgänge und Ereignisse ist nicht durchgängig. Durch eine hellgraue Hinterlegung sind alle Vorgänge markiert, deren Erfassung gesondert betrachtet werden muss.

Tabelle 7: Vorgänge und Ereignisse

Nr.	Bezeichnung Vorgang bzw. Ereignis
A ₂₀	Rohbau-Ist-Höhen – Aufnahme
E ₂₀	Rohbau-Ist-Höhen aufgenommen
A ₃₀	Betondeckung – Aufnahme/Überprüfung
E ₃₀	Betondeckung aufgenommen/überprüft
A ₄₀	Ersatzgradienten – Planung (externer Prozess) → Übergabe Daten (A ₂₀ und A ₃₀) an Planer
E ₄₀	Ersatzgradienten geplant
A ₅₀	Ersatzgradienten – Auswertung Höhendifferenzen Ist – Soll
E ₅₀	Ersatzgradienten – Soll-Lage hergestellt
A ₆₀	Untergrund – Kugelstrahlen → tägliche Erfassung Fertigstellungsgrad gemäß Taktlängen
E ₆₀	Untergrund kugelgestrahlt
A ₇₀	Kappenbereiche – Säuberung
E ₇₀	Kappenbereiche gesäubert
A ₈₀	Abreißfestigkeit Untergrund – Bestimmung
E ₈₀	Abreißfestigkeit Untergrund bestimmt → Vorgabewerte erreicht
A ₉₀	Rautiefe Untergrund – Bestimmung
E ₉₀	Rautiefe Untergrund bestimmt → Vorgabewerte erreicht
	...
A ₄₀₇	Grundierung – Aushärtung → Erfassung von Temperatur und Abschluss des Vorgangs
E ₄₀₇	Grundierung ausgehärtet
	...
A ₄₁₅	Versiegelung – Herstellen
E ₄₁₅	Versiegelung hergestellt
A ₄₁₆	Versiegelung – Aushärtung → Erfassung von Temperatur und Abschluss des Vorgangs
E ₄₁₆	Versiegelung ausgehärtet
A ₄₂₀	Abreißfestigkeit Versiegelung – Bestimmung
E ₄₂₀	Abreißfestigkeit Versiegelung bestimmt → Vorgabewerte erreicht
A ₄₃₀	Bitumenschweißbahnen – – Transportieren

Tabelle 8: Fortsetzung Tabelle 7

Nr.	Bezeichnung Vorgang bzw. Ereignis
E ₄₃₀	Bitumenschweißbahnen transportiert
A ₄₃₅	Bitumenschweißbahn – Verkleben → tägl. Erfassung Fertigstellungsgrad gemäß Taktlängen
E ₄₃₅	Bitumenschweißbahn verklebt
A ₄₄₀	Rasselprobe Bitumenschweißbahn – Durchführen
E ₄₄₀	Rasselprobe Bitumenschweißbahn durchgeführt → keine Hohlstellen
	...
A ₄₆₅	Schuttlage – Verkleben → tägliche Erfassung Fertigstellungsgrad gemäß Taktlängen
E ₄₆₅	Schuttlage verklebt
A ₆₀₀	Fertigungsböcke – Montage
E ₆₀₀	Fertigungsböcke montiert
	...
A ₂₄₅	KSW-Ausleger – Vormontage → tägliche Erfassung prozentualer Fertigstellungsgrad
E ₂₄₅	KSW-Ausleger vormontiert
	...
A ₂₆₅	Hängeeinheiten – Vormontage → tägliche Erfassung prozentualer Fertigstellungsgrad
E ₂₆₅	Hängeeinheiten vormontiert
	...
A ₇₀₀	KSW – Ausrichtung KSW → keine Teilung, da nicht zu beschleunigen
E ₇₀₀	KSW ausgerichtet
A ₆₁₅	Bewehrungskörbe – Vorflechten → tägl. Erfassung Fertigstellungsgrad gemäß Taktlängen
E ₆₁₅	Bewehrungskörbe vorgeflochten
	...
A ₇₂₀	Bewehrung – Einbauen → tägliche Erfassung prozentualer Fertigstellungsgrad
E ₇₂₀	Bewehrung eingebaut
A ₇₃₀	Einbauteile – Montage
E ₇₃₀	Einbauteile montiert
A ₇₄₀	Bewehrung – Abnahme
E ₇₄₀	Bewehrung abgenommen → Freigabe Bewehrung
	...
A ₈₂₅	Beton – Prüfen
E ₈₂₅	Beton geprüft → Freigabe Beton
A ₈₃₀	Betonieren
E ₈₃₀	betoniert
A ₈₃₅	Beton – Nachbehandlung → Erfassung von Temperatur und Abschluss des Vorgangs
E ₈₃₅	Beton – Nachbehandlung/Ausschalfrist abgeschlossen
	...
A ₉₃₀	KSW von Takt 1 – Umsetzen
E ₉₃₀	KSW umgesetzt

Der Vorgang „A₄₀-Planung der Ersatzgradienten“ spiegelt einen externen Prozess wider. Die Planung erfolgt nicht auf der Baustelle. Eine Erfassung direkt auf der Baustelle ist entsprechend nicht möglich. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Planung gestartet wurde, wenn die Daten, die durch die Vorgänge „Rohbau-Ist-Höhen – Aufnahme“ und „Betondeckung – Aufnahme/Überprüfung“ an das Planungsbüro weitergeleitet wurden. Entsprechend sollte die Information stellvertretend erfasst werden.

Es gibt mehrere Vorgänge, welche die Dauer von acht Arbeitsstunden, also einem Arbeitstag, überschreiten. Das betrifft die Vorgänge

- Untergrund – Kugelstrahlen,
- Grundierung – Aushärtung,
- Versiegelung – Aushärtung,
- Bitumenschweißbahn – Verkleben,
- Schutzlage – Verkleben,
- KSW-Ausleger – Vormontage,
- Hängereinheiten – Vormontage,
- KSW – Ausrichtung KSW,
- Bewehrungskörbe – Vorflechten,
- Bewehrung – Einbauen und
- Beton – Nachbehandlung.

Bei den Vorgängen

- Untergrund – Kugelstrahlen,
- Bitumenschweißbahn – Verkleben und
- Schutzlage – Verkleben
- Bewehrungskörbe – Vorflechten

ist der tägliche Fertigstellungsgrad abgestimmt auf die Taktlängen zu erfassen.

Die Vorgänge

- KSW-Ausleger – Vormontage und
- Hängereinheiten – Vormontage

sind unabhängig von der Taktung, dauern aber auch länger als acht Arbeitsstunden. Insofern ist täglich der prozentuale Fertigstellungsgrad zu bestimmen.

Der Vorgang

- Bewehrung – Einbauen

dauert, wie in Tabelle 5 (Seite 48) angegeben, für den Bereich eines Taktes einer Innen- oder Außenkappe ca. 10 h.

Da eine Beschleunigung des Vorgangs durch Kapazitätsaufstockung möglich ist, muss der prozentuale Fertigstellungsgrad täglich erfasst werden.

Da die Ausführungsdauer der Vorgänge

- Grundierung – Aushärtung
- Versiegelung – Aushärtung
- Beton – Nachbehandlung/Ausschalfrist

von der Außentemperatur respektive der Trocknungsdauer abhängig sind, muss neben dem Abschluss des Vorgangs auch die Temperatur im Ausführungszeitraum erfasst werden.

Der Vorgang

- Ausrichtung des Kappenschalwagens

kann nicht beschleunigt werden, insofern genügt die Erfassung des Ereignisses „KSW ausgerichtet“.

3.2.2 Personalressourcen

Die Verfügbarkeit ($D_s := \{\text{available, not available}\}$) und Qualifikation ggf. auch Qualifikationen von Personalressourcen müssen erfasst werden (siehe Tabelle 6).

Wie bei allen Ressourcen spielt der Erfassungszeitpunkt eine wichtige Rolle. Im Gegensatz zur Erfassung der Vorgänge muss die Verfügbarkeit der Personalressourcen vorausschauend abgebildet werden. Das heißt, der voraussichtliche Einsatzbeginn sowie die geplante Einsatzdauer einer Ressource müssen abgeschätzt und bei Planungsänderungen immer wieder angepasst werden. Die Abschätzung kann bspw. anhand von Verträgen mit Subunternehmern erfolgen.

Die Erfassung des tatsächlichen Einsatzbeginns bzw. des tatsächlichen Einsatzendes einer Personalressource auf der Baustelle sollte zusätzlich erfolgen. Sie kann der Validierung der Annahmen dienen.

In Tabelle 9 sind alle Personalqualifikationen aufgeführt, die an der Erstellung einer Brückenkappe mitwirken. Zu unterscheiden sind Haupt- und Zusatzqualifikationen. Ein Arbeiter weist meist nur eine Hauptqualifikation auf; neben dieser kann er über eine oder mehrere Zusatzqualifikationen verfügen. Folglich können einer Personalressource mehrere Qualifikationen zugewiesen werden. Außerdem müssen Qualifikationen unterschieden werden, welche externe Personalressourcen abbilden, die prozessgebunden für die Ausführung eines oder mehrerer Prozesse von außen angefordert werden. Die Ressourcen können nur für diese Prozesse eingesetzt werden.

Tabelle 9: Personalressourcen für das Beispiel Brückenkappe

Gruppierung	Qualifikation
Baustellenpersonal	Abdichter
	Bauleiter
	Betonpumpenfahrer
	Eisenflechter
	Kranführer
	Stahlbetonbauer
Zusatzqualifikation	Polier
Baustellenpersonal	Vorarbeiter (Abdichter)
	Vorarbeiter (Stahlbetonbauer)
	Teleskopstaplerfahrer
Externes Personal (termin- gerecht und prozessgebun- den angefordert)	Bauüberwacher
	Betonprüfer
	Prüfingenieur
	Vermesser

Es kann zusammengefasst werden, dass für jede Personalressource deren

- Qualifikation, ggf. Qualifikationen,
- geplanter Einsatzbeginn,
- geplantes Einsatzende,
- tatsächlicher Einsatzbeginn,
- tatsächliches Einsatzende

zu erfassen sind.

3.2.3 Geräteressourcen

Die Erfassung der Geräteressourcen unterliegt ähnlichen Bedingungen. Es müssen deren Verfügbarkeit ($D_s := \{\text{available, not available}\}$), Funktion und Eigenschaften erfasst werden (siehe Tabelle 6). Auch die Verfügbarkeit der Geräteressourcen muss vorausschauend abgebildet werden, d. h. der voraussichtliche Einsatzbeginn sowie die geplante Verfügbarkeitsdauer einer Ressource müssen abgeschätzt und bei Planungsänderungen immer wieder aktualisiert werden.

Die Erfassung des tatsächlichen Einsatzbeginns bzw. Einsatzendes einer Geräteressource auf der Baustelle dient ebenfalls zur Validierung von Annahmen.

Tabelle 10 listet die Geräteressourcen auf, welche für die Herstellung einer Brückenkappe benötigt werden und einer Personalressource fest zugeordnet sind.

Tabelle 10: Geräteressourcen für das Beispiel Brückenkappe

Geräteressource (Funktion)	Zuordnung zu Personalressource
Brenner	Abdichter
Druckluftgerät	Abdichter
Haftzuggerät	Abdichter
Kugelstrahlgerät inkl. Absauger	Abdichter
Betonprüfinstrumente	Betonprüfer
Flaschenrüttler	Stahlbetonbauer
Rüttelbohle	Stahlbetonbauer
Tachymeter	Vermesser

Spalte zwei zeigt die Personalressource, welche die Geräteressource nutzt oder bedient. Durch die Zuordnung kann der Erfassungsaufwand verringert werden. Die auszuführenden Prozesse sind so anspruchsvoll, dass sie durch speziell qualifizierte Arbeiter ausgeführt werden. Die Arbeiter gehören im Allgemeinen zu einem Arbeitstrupp, welcher immer für diese Prozesse eingesetzt wird und die notwendigen Geräte mit sich führt. Häufig werden hierfür Subunternehmen gebunden. Bei der Herstellung von Brückenkappen sind Abdichter, welche Brenner, Druckluft-, Haftzug- und Kugelstrahlgerät mit sich führen, ein typisches Beispiel für die feste Ressourcenzuordnung. Insofern wird die Bereitstellung dieser Ressourcen nicht separat durch die Bauleitung koordiniert, sondern nur die Anforderung des Abdichtertrupps. Für Steuerungsmaßnahmen stehen diese Geräte nicht zur Verfügung und können bei deren Planung nicht berücksichtigt werden. Es wird davon ausgegangen, dass Geräte, die an spezielle Gewerke gebunden sind, mit den entsprechenden Personalressourcen auf der Baustelle eintreffen und wieder abgezogen werden.

Aus den genannten Gründen beschränkt sich die Erfassung im betrachteten Beispiel auf die in Tabelle 11 angeführten Geräteressourcen Betonpumpe, Hochbaukran, Prüfgerät Betondeckung und Teleskopstapler. Für die Geräte muss die Funktion erfasst werden. Anhand der Funktion wird das Einsatzfeld eines Gerätes definiert und die Suche nach alternativen Geräten ermöglicht. In den meisten Fällen ist die Funktion bereits durch den Gerätenamen beschrieben. Im Falle von Hochbaukran und Teleskopstapler wurde die Funktion „Transportieren“ in Klammern angegeben. Somit wird ersichtlich, dass diese Geräte, sofern die Eigenschaften des Gerätes es zulassen, alternativ eingesetzt werden können.

Die Eigenschaften einer Geräteressource definieren deren Einsatzgrenzen, sie müssen ebenfalls erfasst werden und können von der Funktion der Geräteressource abgeleitet werden.

In Tabelle 11 werden solche Eigenschaften beispielhaft für die Geräteressourcen Betonpumpe, Hochbaukran, Prüfgerät Betondeckung und Teleskopstapler zusammengestellt.

Tabelle 11: Eigenschaften Gerätere Ressourcen (beispielhaft)

Geräte	Eigenschaften	Einheit
Betonpumpe	max. Fördermenge	m ³ /h
	max. Förderdruck	bar
	Förderleitung	DN
	Reichhöhe	m
	Reichweite	m
	Reichtiefe	m
	Schwenkbereich	°
Hochbaukran (transportieren)	max. Hubkraft	kN
	horizontale Reichweite	m
	vertikale Reichweite	m
	Schwenkbereich	°
Prüfgerät Betondeckung	Detektionstiefe	mm
Teleskopstapler (transportieren)	max. Hubkraft	kN
	max. Hubhöhe	m
	Schwenkbereich	°

Es lässt sich zusammenfassen, dass für jede Gerätere Ressource deren

- Typ,
- Eigenschaften,
- geplanter Einsatzbeginn,
- geplantes Einsatzende,
- tatsächlicher Einsatzbeginn und
- tatsächliches Einsatzende
- zu erfassen sind.

3.2.4 Materialressourcen

Die Erfassung der Materialressourcen unterscheidet sich von der Erfassung der anderen Ressourcen. Es müssen deren Verfügbarkeit ($D_s := \{\text{available, not available}\}$), Typ und Menge erfasst werden (siehe Tabelle 6). Im Gegensatz zu den Personal- und Gerätere Ressourcen wird nur der tatsächliche Eingang der Materialien erfasst. Eine Ausnahme bildet der Beton. Da er „in time“ geliefert wird, muss zusätzlich der geplante Zeitpunkt erfasst werden.

Tabelle 12 zeigt die Materialressourcen, die für das Beispiel der Brückenkappe identifiziert wurden. Es werden nur die Materialien betrachtet, die gesondert bestellt und geliefert werden. Materialien, die als Verbrauchsmaterial zu einer Maschine mitgeliefert werden, wurden von der Auflistung ausgenommen, da sie der jeweiligen Gerätere Ressource zugeordnet sind. Ein Beispiel dafür ist das Material, das zum Kugelstrahlen verwendet wird. Es wird mit dem Kugelstrahlgerät geliefert und ist demnach vor Ort, wenn das Gerät zur Verfügung steht. Die

Feststellung, ob Material gesondert bestellt werden muss oder mit einem Gerät geliefert wird, muss in der Arbeitsvorbereitungsphase anhand der Vertragsbedingungen zwischen dem ausführenden Bauunternehmen und den Lieferfirmen bzw. Subunternehmern getroffen werden.

Tabelle 12: Materialressourcen für das Beispiel Brückenkappe

Materialtyp	Bemerkung	Mengenangabe in
Ballast (Betonplatten)	Mehrwegmaterial	Stückzahl, kg/Stück
Beton	Verbrauchsmaterial	m ³
Bewehrung	Verbrauchsmaterial	Stückzahl je Biegeform gemäß Stahlliste
Bitumenschweißbahn	Verbrauchsmaterial	m ² (Bahn auf Rolle)
Edelstahlkaschierte Schweißbahn	Verbrauchsmaterial	m ² (Bahn auf Rolle)
Einbauteile, z.B. Anker Lärmschutzwand	Verbrauchsmaterial	Stückzahl je Bauteilform
Elemente KSW-Ausleger	Mehrwegmaterial	Stückzahl je „Bausatz“ (aus Einzelteilen)
Elemente KSW-Hängereinheit	Mehrwegmaterial	Stückzahl je „Bausatz“ (aus Einzelteilen)
Epoxidharz-Komponenten	Verbrauchsmaterial	m ³ (Flüssigkeit in Eimern)
Folie für Nachbehandlung des Betons	Mehrwegmaterial	m ² (Bahn auf Rolle)
Holz für Montageböcke	Mehrwegmaterial	Stückzahl je „Bausatz“ (aus Einzelteilen)
Holz für Nachbehandlung des Betons	Mehrwegmaterial	Stückzahl (Leisten)
Quarzsand	Verbrauchsmaterial	kg (Schüttgut in Säcken)
Seitenschalung	Mehrwegmaterial	Stückzahl je Schalungsform
Schienen	Mehrwegmaterial	Stückzahl, m/Stück
Schrammbord	Verbrauchsmaterial	Stückzahl, m/Stück
Schutzlage	Verbrauchsmaterial	m ² (Bahn auf Rolle)
Unterwagen KSW	Mehrwegmaterial	Stückzahl

Folgende Anforderungen sind an die Erfassung der Materialressourcen zu stellen. Wenn eine Lieferung auf der Baustelle eintrifft, sind der Materialtyp sowie die Liefermenge zu erfassen. Die Erfassung der Menge ist wichtig, um die vorhandene Menge mit der für den jeweiligen Prozess notwendigen Menge abgleichen zu können. Ferner muss die Erfassung der Materialmenge auf die Angabe der Menge im Simulationsmodell abgestimmt sein. Tabelle 12 zeigt beispielhaft die Mengenangaben, welche bereits erkennen lassen, dass die Angabe für jeden Materialtyp gesondert zu definieren ist und mögliche Lieferformen berücksichtigt werden müssen.

Im Simulationsmodell muss zwischen Mehrweg- und Verbrauchsmaterial unterschieden werden (wie in Tabelle 12 abgebildet). Mehrwegmaterial wird für die Ausführungsdauer des Prozesses, der auf diese Ressource zugreift, „gesperrt“, d. h. kein anderer Prozess kann in

dieser Zeitspanne die Ressource nutzen. Nachdem der Prozess als abgeschlossen („completed“) erfasst wurde, wird die Materialressource wieder freigegeben und kann zur Ausführung eines weiteren Prozesses genutzt werden. Im Gegensatz dazu können Verbrauchsmaterialien nur einmal genutzt werden, da sie eingebaut werden. Das heißt, wenn ein Prozess einmal auf ein Verbrauchsmaterial zugegriffen hat, dann ist die Ressource dauerhaft gesperrt. Die Information, ob es sich um Mehrweg- oder Verbrauchsmaterial handelt, ist im Simulationsmodell zu hinterlegen.

Die Analyse der Praxisbeispiele hat ergeben, dass bei der Mehrzahl der Materialien mit der Lieferung auch ein Lieferschein auf der Baustelle eintrifft. Da eine möglichst praxisnahe Bau-Ist-Erfassung entwickelt werden soll, welche bereits vorhandene Daten soweit wie möglich nutzt, ist es naheliegend, das Erfassungswerkzeug Lieferschein zu nutzen. Allerdings hat die Praxis auch gezeigt, dass die Lieferscheine große inhaltliche Unterschiede aufweisen. Es ist somit unbedingt notwendig, Form und Inhalt der Lieferscheine auf die Anforderungen des Simulationsmodells abzustimmen.

Um eine möglichst einfache und fehlerfreie Übergabe und Verarbeitung der Daten zu ermöglichen, sollten die Lieferscheine digital in Umlauf gebracht werden. Weiterhin müssen die Angaben zu Materialtyp und Liefermenge wie bereits erläutert standardisiert werden.

Für jede Materialressource sind bei deren Lieferung

- Typ,
- Menge und
- bei Mehrwegmaterial der geplante Austrittszeitpunkt

zu erfassen.

Bei Beton sind

- Typ,
- Menge und
- der geplante Lieferzeitpunkt

zu erfassen.

4 Datenerfassung

In den Feldstudien wurde die baustelleneigene Bauablaufdokumentation betrachtet und vermerkt, welche prozessbezogenen Informationen im Baustellenalltag dokumentiert werden. Es wurde deutlich, dass eine ganze Reihe von nutzbaren Informationen bereits erfasst wird.

Mit Hilfe dieser Informationen kann der Bauablauf in Teilen, jedoch nicht vollständig, nachvollzogen werden. Aufbauend darauf soll das Erfassungskonzept vorhandene Daten nutzen, welche später ergänzt werden.

Abbildung 30 veranschaulicht den Ansatz. In den vorangegangenen Kapiteln wurde definiert, welche Informationsstützstellen mit Bau-Ist-Daten belegt werden müssen (sie werden durch die Fläche mit der durchgezogenen Umrahmung repräsentiert). In einem ersten Schritt wird geklärt, welche Bau-Ist-Daten aus der vorhandenen Bauablaufdokumentation (unterbrochene Umrahmung) genutzt werden können und inwiefern sich diese mit den notwendigen Bau-Ist-Daten decken. Die Überschneidungsmenge ist in der Abbildung dunkel hinterlegt und wurde mit „Nutzbare Daten aus Bauablaufdokumentation“ bezeichnet. Es bleibt eine Menge von Daten, welche zusätzlich erfasst werden muss. Der Bereich, der jene Daten repräsentiert, ist hellgrau angelegt.

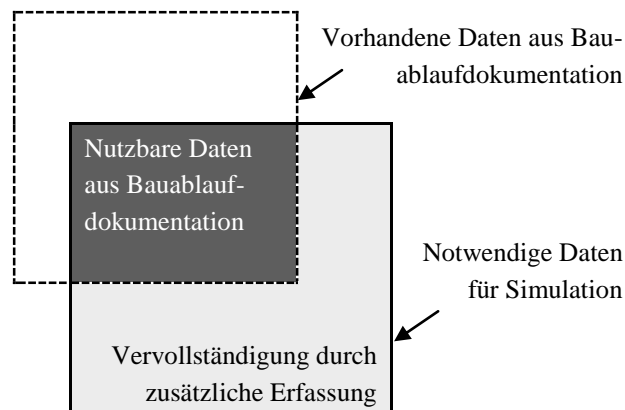


Abbildung 30: Konzept Datenakquise (eigene Darstellung)

4.1 Baustellendokumentation als Informationsquelle

Es wird davon ausgegangen, dass alle Daten, die durch die bauausführenden Firmen im Rahmen der Bauleitungstätigkeit erhoben werden, als Grundlage herangezogen werden können. Die Dokumentationen anderer am Bau Beteiligter, wie bspw. eine externe Bauüberwachung, werden in der Arbeit nicht berücksichtigt, da von einer Umsetzung des Erfassungskonzeptes außerhalb des Organisationsbereiches des Bauunternehmens nicht sicher ausgegangen werden kann. Zukünftig, insbesondere bei Einsatz eines gemeinsamen Bauwerks-Informations-Modells, erweitert sich der Pool verfügbarer Daten.

Die möglichen Informationsquellen werden im Hinblick auf das Beispiel Brückenkappe zusammengestellt. Somit wurden neben allgemeinen rechtlichen und vertraglichen Grundlagen, die für jede Baustelle gelten, gezielt Regelwerke für den Brückenbau bzw. die Betonverarbeitung ausgewertet. Hier wird von Baustellen ausgegangen, welche deutschen Gesetzen und Richtlinien unterliegen und die in Deutschland gängige Praxis der Bauleitung widerspiegeln.

Dokumentationsumfang und -tiefe sind davon beeinflusst, welche Notwendigkeit, aber auch Risiken der Bauleiter in der Bauablaufdokumentation sieht. Im Gegensatz zu anderen Industrien ist die Dokumentationspraxis im Bauwesen häufig durch subjektive Interessen und Befürchtungen geprägt. Störungen oder Ungenauigkeiten werden oftmals nicht dokumentiert, weil negative Konsequenzen befürchtet werden. Um ein zutreffendes Bild der anfangs angesprochenen „vorhandenen Daten“ (siehe Abbildung 30) zu ermitteln, wurde die Frage aufgeworfen: Was wird auf Baustellen tatsächlich dokumentiert? Zur Beantwortung wurde eine Umfrage unter Baufirmen mit Baustellen in Deutschland initiiert und ausgewertet. Es wurde nach der gängigen Dokumentationspraxis gefragt.

Bevor die Ergebnisse der Umfrage dargestellt werden, wird der Frage nachgegangen, welche Daten pflichtgemäß auf einer Baustelle erfasst werden und auf welcher Grundlage das geschieht. Von Interesse sind Bau-Ist-Daten, die aus diesem Grund mit hoher Wahrscheinlichkeit erfasst werden und deren Erhebung zeitnah, vorzugweise täglich, erfolgt.

Was auf Baustellen dokumentiert wird, ist durch Regelwerke wie Normen, Vertragsbedingungen und firmeninterne Vorgaben festgelegt. Während Normen für alle Baufirmen bindend sind, müssen Vertragsbedingungen individueller Vertragsbestandteil sein, damit sie verbindlich sind. Das interne Controlling obliegt den Baufirmen. Es ist insofern unterschiedlich ausgeprägt, auch wenn sich in der einschlägigen Branche gewisse Mindeststandards herausgebildet haben. Im Folgenden werden Vertragsbedingungen, Normen und Controllingvorgaben, welche die Dokumentation relevanter Prozesse betreffen, analysiert.

4.1.1 Vertragsbedingungen

Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB)

Durch die VOB werden viele Mechanismen wie bspw. Mengenermittlungen und Abnahmen geregelt. Diese Dokumentationen sind für die taggenaue, prozessorientierte Bau-Ist-Bestimmung ungeeignet, da sie am Ende größerer Teilabschnitte oder nach Abschluss der Baumaßnahme erfolgen.

Es können gemäß VOB/A jedoch Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZVT) vereinbart werden. Diese ergänzen die Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen (ATV) und somit die VOB/C.

ZTV-ING

Im Brückenbau sind Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING) [10], herausgegeben von der Bundesanstalt für Straßenwesen, zu berücksichtigen. In Tabelle 13 wurden die für die Dokumentation von Brückenkappen relevanten Textauszüge der ZTV-ING zusammengefasst.

Tabelle 13: Vorgaben der ZTV-ING [10]¹³

Textausschnitte aus ZTV-ING

„Teil 1 Allgemeines, Abschnitt 3 Prüfungen während der Ausführung

2 Bestimmung der äußeren Bedingungen

(4) Die Messwerte sind gemäß Formblatt B 1.3.1 zu protokollieren.

3.3 Bestimmung der Abreißfestigkeit

(1) Über jede Abreißprüfung ist ein Protokoll gemäß Formblatt B 1.3.2 anzufertigen.

4.5 Bestimmung der Rautiefe

(1) Die Messwerte und die einer Prüfung zugeordneten Flächen sind nach Größe und Lage gemäß Formblatt B 1.3.3 zu protokollieren.

Teil 3 Massivbau, Abschnitt 1 Beton

8.2 Lieferschein für Transportbeton

(1) Der Lieferschein für Transportbeton muss die in Tabelle 3.1.2 aufgeführten Angaben unverlüsselt und, soweit gefordert, automatisch ausgedruckt enthalten.

Teil 3 Massivbau, Abschnitt 2 Bauausführung

5.5. Einbau der Bewehrung

(3) Die Kontrolle der Bewehrung ist mindestens 3 Arbeitstage vor Beginn des Betonierens bei der Bauüberwachung des Auftraggebers zu beantragen.“

¹³ Die Formblätter B 1.3.1, B 1.3.2 und B 1.3.3 sowie die Tabelle 3.1.2 sind Anlage 4 abgebildet.

4.1.2 Normen

DIN 1045-3 Überwachung von Betonarbeiten – Betoniertagebuch und Nachbehandlungstagebuch

Weitere Angaben zur Dokumentation des Bauablaufes sind in Normen verankert. Gemäß DIN 1045 – Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3 [14], Abschnitt 11 sind die folgenden Vorgänge zu überwachen und zu dokumentieren:

- Herstellung und Nutzung von Gerüsten und Schalungen
- Bewehren
- Vorspannen
- Betonieren.

In Tabelle 14 wurden die für die Dokumentation von Brückenkappen relevanten Textauszüge der DIN 1045, Teil 3 zusammengefasst.

Tabelle 14: Vorgaben der DIN 1045, Teil 3 [14]

Textausschnitte aus DIN 1045, Teil 3

„11 Überwachung durch das Bauunternehmen

11.1 Allgemeines

(2) Durch das Bauunternehmen ist nach jeder Anlieferung von Baustoffen und Bauteilen die **Übereinstimmung des Lieferscheins** oder des Beipackzettels mit den bautechnischen Unterlagen zu überprüfen. Nicht ausreichend gekennzeichnete Baustoffe und Bauteile dürfen nicht eingebaut werden.

11.3 Überwachung des Bewehrens

(1) Vor dem Betonieren ist zu überprüfen, ob

- Stahlsorte, Anzahl, Durchmesser und Lage der Bewehrung (auch Anschlussbewehrung) den Angaben in den Bewehrungsverzeichnissen entsprechen; [...]

11.5 Überwachung des Betonierens

(1) Neben den maßgebenden Frisch- und Festbetoneigenschaften sind für das Betonieren zu überprüfen und aufzuzeichnen (z. B. im Bautagebuch):

- Bauabschnitte und Bauteil;
- Art und Dauer der Nachbehandlung.“

4.1.3 Firmeninternes Berichtswesen

Es gibt eine Vielzahl an firmeninternen Dokumentationsformen und ebenso viel Fachliteratur zu diesem Thema. So strukturiert bspw. ACHILLES die Dokumentationsinstrumente in die folgenden Basisinstrumente: „Bautagebuch, Ist-Terminplanung, Berichte (Stundenlohnzettel, Stundenberichte, Geräteberichte), Listen (Planlauflisten), Schriftverkehr, Protokolle, Fotodokumentation“ [1].

Die Frage ist: Welche der Dokumentationsformen werden standardmäßig in allen Baufirmen genutzt und entsprechen dem Anspruch der Taggenauigkeit? Da der Fokus der Fachliteratur auf dem Soll-Zustand und nicht auf dem Ist-Zustand liegt, gibt die Fachliteratur relativ wenig Auskunft. GRIEBEL hat dazu Untersuchungen vorgenommen und aufgrund seiner Recherchen und einer Befragung festgestellt:

„Das Berichtswesen der Baustelle erfüllt in den meisten Fällen nicht die Erwartungen an die zeitnahe und exakte Abbildung der Bauprozesse. Eine Steuerung ist mit den berichtenden Daten nur schwer möglich“ [29].

Um einschätzen zu können, wie das Baustellenberichtswesen in der Praxis umgesetzt wird, wurde im Rahmen einer studentischen Abschlussarbeit [76] eine Befragung unter Bauleitern von Brückenbaustellen in Deutschland durchgeführt. Dazu wurden 26 Bauleiter von kleinen und mittelständischen Unternehmen sowie großen Konzernen in Telefoninterviews befragt. An dieser Stelle sollen aus der großen Zahl von Fragen zum Baustellenberichtswesen die folgenden Aspekte herausgegriffen werden: Welche Berichte werden so konsequent geführt, dass sie für das angestrebte Bau-Ist-Erfassungskonzept verwendet werden können, ohne erheblichen Mehraufwand zu verursachen?

Deshalb wurde die Frage gestellt: „Welche Berichte werden im Zuge des Berichtswesens auf der Baustelle ausgefüllt?“

Abbildung 31 fasst die Antworten zusammen. Es wird deutlich, dass nur das Bau- und das Betoniertagebuch zuverlässig geführt werden. Das Ergebnis der Befragung deckt sich mit den Erkenntnissen aus dem vorangegangenen Kapitel zum Thema Dokumentationspflichten.

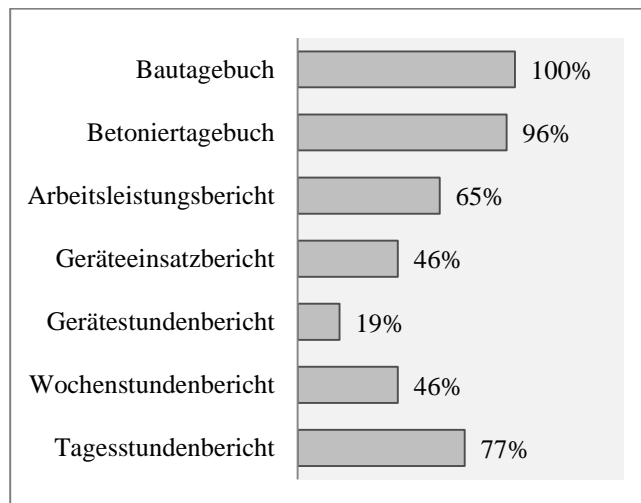


Abbildung 31: Diagramm: Welche Berichte werden geführt? [76]

Die zweite Frage zielte auf die Bearbeitungsfristen der Baustellendokumentation ab. Es wurde gefragt: „Werden Tagesberichte wie das Bautagebuch täglich geführt?“ Die Antworten zeigen, dass bspw. das Bautagebuch nicht täglich geführt wird. Die bisherige Praxis würde den Anforderungen des angestrebten Konzeptes demnach nicht genügen.

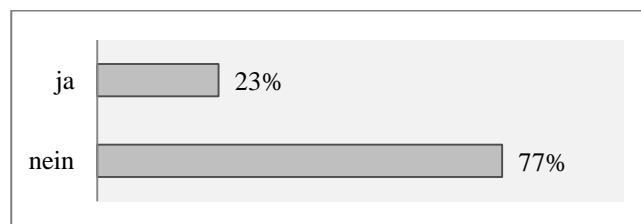


Abbildung 32: Diagramm Tagesberichte [76]

Die nächste Frage sollte klären, ob eine zeitnahe Weitergabe der Daten üblich ist. Deshalb wurde die Frage gestellt: „Wie lange dauert es, bis die erfassten Daten (in Papierform) in der Controlling-Abteilung des Unternehmens ankommen?“ Es wird deutlich, dass die Weitergabe der Daten für das angestrebte Erfassungskonzept deutlich schneller erfolgen muss.

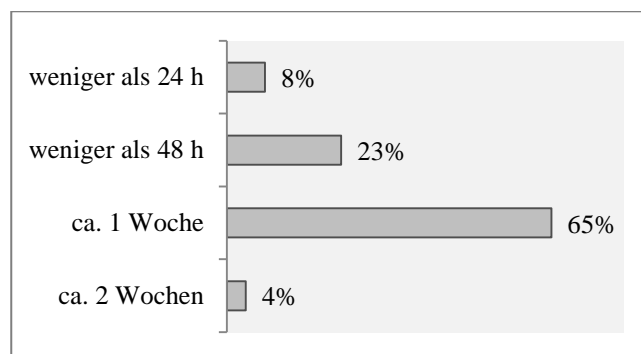


Abbildung 33: Diagramm Datenverarbeitung [76]

4.1.4 Aussagekraft des Bautagebuches

Über die Umfrage hinaus wurde die Frage aufgeworfen: Wie zutreffend lässt sich der Bauablauf anhand einer typischen Bauablaufdokumentation vollziehen? Da das Projekt „Hörseltal-

brücke“ durch eine Studentin begleitet wurde und somit präzise Angaben zum tatsächlichen Bauablauf sowie der Bauablaufdokumentation vorlagen, wurde die Frage in die Aufgabenstellung der Diplomarbeit eingebunden. So wurden im Rahmen der Diplomarbeit [90] Auszüge des Bauablaufes anhand des Bautagebuches, der Lieferscheine und der Prüfprotokolle rekonstruiert und das Ergebnis dem tatsächlichen Bauablauf gegenübergestellt. Betrachtet wurde ein Ausschnitt der Herstellung der Brückenkappen. Bei der Rekonstruktion blieben die selbst erfassten Daten über den tatsächlichen Ablauf völlig unbeachtet. Informationen zum Baufortschritt wurden in der Reihenfolge in den Bauablauf eingepflegt, wie sie in der Dokumentation aufgelaufen sind.

Aus der Auswertung der Bautagebücher konnten aufschlussreiche Erkenntnisse zur Stringenz und Kohärenz der auf Baustellen üblichen Dokumentationspraxis gewonnen werden. Datenlücken und Abweichungen vom realen Bauablauf legten nahe, dass das Ausfüllen des Bautagebuches meist als unbeliebte Zusatzarbeit eingestuft wird, welche unregelmäßig und ohne die notwendige Sorgfalt erledigt wird. Außerdem wurden erhebliche Datenanpassungen festgestellt, welche nicht zu vernachlässigende Verschiebungen im Bauablauf verursachten.

Der Vergleich ergab eine deutliche Abweichung zwischen dem realen Bauablauf und der Rekonstruktion. Dafür konnten mehrere Ursachen identifiziert werden, eine der wichtigsten ist, dass das Bautagebuch nicht täglich geführt wurde. In der Folge erfüllen viele Informationen nicht die Anforderungen einer taggenau Bau-Ist-Erfassung. Viele Baustellendokumente werden deutlich zeitverzögert erstellt. Wie zeitnah die Dokumente erstellt werden, ist vom Inhalt des Dokuments abhängig. Prüfprotokolle und Lieferscheine werden in der Regel am Tag der Prüfung bzw. Lieferung erstellt, das Bautagebuch wurde hingegen meist erst am Ende einer Woche ausgefüllt.

Die verspätete Dokumentation führte zu einer generellen Verlangsamung des Bauablaufmodells. Außerdem entstand ein unlogisches Bild des Bauablaufes. Prüfereignisse, welche am Ende eines Vorgangs stehen, wurden eher registriert als der Vorgang selbst, weil dieser im Bautagebuch dokumentiert wurde. Die Folgen für eine Bauprozesssimulation wären erheblich. In einem Simulationsmodell wird der Beginn eines Vorgangs erst freigegeben, wenn alle Vorgänge, die als Voraussetzung für den Beginn des Prozesses definiert sind, abgeschlossen wurden. Durch die verspätete Feststellung, dass ein Vorgang abgeschlossen wurde, werden auch die nachfolgenden Vorgänge zu spät zum Beginn freigegeben. In der Realität waren die meisten Vorgänge bereits begonnen und z. T. sogar abgeschlossen, als ihr Beginn in der Rekonstruktion hätte erfolgen dürfen. Würden Vorgänge tatsächlich erst gestartet, wenn sie freigegeben sind, dann würde der Bauablauf stark verlangsamt, und neue Vorgänge könnten aufgrund der Dokumentationspraxis meist erst an einem nachfolgenden Montag beginnen.

Die verspätete Dokumentation, welche meist aus dem Gedächtnis erfolgte, führte zu zusätzlichen Fehlern. So wurde bspw. der Eintritt einiger Ereignisse ungewollt einem falschen Tag zugeordnet.

Ein weiteres Problem waren die Detailtiefe und Vollständigkeit. Für eine zutreffende Bauablaufplanung muss ein vollständiges Abbild der Baustelle, also aller Vorgänge, erfasst werden. Durch die baustelleneigene Dokumentation wurde jedoch nur ein lückenhaftes Abbild der Baustelle wiedergegeben. Es wurden bei Weitem nicht alle Vorgänge im Bautagebuch erfasst. Außerdem wurden meist nur Hauptprozesse im Bautagebuch dokumentiert. Für eine zutreffende Bauablaufplanung muss demnach nicht nur zeitnäher, sondern auch detaillierter dokumentiert werden.

Ein weiterer Schwachpunkt ist die Belastbarkeit der Daten. Die Auswertung der Bautagebücher in den verschiedenen Projekten hat ergeben, dass die Baustellendokumentation sogenannten Anpassungen ausgesetzt war. Einige Informationen, welche eine hohe Aussagekraft über die Vertragstreue der Projektabwicklung aufwiesen, wurden gegenüber der Realität verfälscht dargestellt oder blieben unerwähnt.

Die Studie führte zu dem Schluss, dass die Baustellendokumentation unter Einschränkungen zur Feststellung des aktuellen Bau-Ist-Zustandes nutzbar ist. Allerdings war deutlich zu erkennen, dass die Informationen, die aus der vorhandenen Baustellendokumenten entnommen werden können, ein zu unpräzises Bild des Bau-Ist-Zustandes liefern. Die Dokumentation muss für die Ziele dieser Arbeit deutlich stärker vorstrukturiert und automatisiert werden, um die Fehler- und Manipulationsanfälligkeit zu senken. Unter dieser Voraussetzung könnte auch die Bauablaufdokumentation zur Generierung belastbarer und zeitlich zutreffender Bau-Ist-Informationen herangezogen werden.

4.1.5 Zusammenfassung Baustellendokumentation

Die umfassende und vorangegangene, in den wichtigsten Auszügen vorgestellte Betrachtung der Baustellendokumentation ergab, dass das übliche Mittel zur Dokumentation des Bauablaufes das Bautagebuch ist. Eine gesetzliche Pflicht dazu besteht weder auf Auftraggeber- noch auf Auftragnehmerseite. Eine Pflicht zur Führung eines Bautagesbuches ist in der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI – (Anlage 2 zu § 3 Absatz 3 Besondere Leistungen) [41] verankert. Es wird aber auf jeder Baustelle geführt, häufig auch täglich. Da das Bautagebuch keiner Norm unterliegt, sind die Inhalte nicht standardisiert. Die Weitergabe der Daten erfolgt nicht zuverlässig am gleichen Tag.

Neben den Inhalten des Bautagesbuches können Prüfprotokolle und Lieferscheine zuverlässig zur Bestimmung des Bau-Ist-Zustandes herangezogen werden, da ihre Dokumentation in Normen oder Vertragsbedingungen festgeschrieben ist. Auf die folgenden Dokumente wird in der weiteren Arbeit zurückgegriffen:

- Protokoll über die Bestimmung der äußeren Bedingungen (gemäß ZTV-ING)
- Protokoll über die Bestimmung der Abreißfestigkeit (gemäß ZTV-ING)
- Protokoll über die Bestimmung der Rautiefe (gemäß ZTV-ING)
- Lieferschein für Transportbeton (gemäß ZTV-ING)
- Einbau der Bewehrung (gemäß ZTV-ING)
- Lieferschein von Baustoffen und Bauteilen (gemäß DIN 1045)
- Protokoll über die Überwachung des Bewehrens (gemäß DIN 1045)
- Protokoll über die Überwachung des Betonierens (gemäß DIN 1045).

Abschließend wurde der Inhalt der Dokumente mit den erwarteten Inhalten aus Regelwerken und Umfrage sowie den Dokumenten der örtlichen Bauüberwachung abgeglichen. Die Auswertung der vorgefundenen Baustellendokumente führte zu der kritischen Frage, wie belastbar die Daten sind und wie zeitnah sie tatsächlich entstehen.

Diese Ergebnisse führen zu dem Schluss, dass die Baustellendokumentation durchaus zur Erfassung der Simulationsparameter nutzbar ist. Allerdings muss die Datenerfassung für die Simulation stärker automatisiert und weniger fehleranfällig sein, um tatsächlich nutzbare Bau-Ist-Informationen generieren zu können. Ferner ist es erforderlich, noch mehr als bisher die baubetrieblichen Abhängigkeiten und wesentliche voreingestellte Werte zu formulieren und für das Simulationsmodell verständlich aufbereitet zur Verfügung zu stellen.

Angestrebt wird deshalb eine Ausweitung der automatisierten Bauprozesserfassung unter Zuhilfenahme verschiedener Erfassungstechniken und transparente und nachvollziehbare Darstellung der im Simulationsmodell hinterlegten baubetrieblichen Standardwerte und Prozessabhängigkeiten.

4.2 Erfassungsmethoden

Das Controlling von Baustellen mit Hilfe von innovativen Methoden ist ein relativ junges Wissenschaftsgebiet. Noch in den 1980er Jahren und bis einschließlich des wiedervereinigungsbedingten Baubooms Mitte der 1990er Jahre spielten in Deutschland tradierte Systeme der Kosten- und Leistungsrechnung eine vorherrschende Rolle. In den vergangenen Jahren wurden diese Verfahren der Bau-Ist-Aufnahme im Hinblick auf die Optimierung der baubetrieblichen Arbeitsabläufe weiterentwickelt. Außerdem wurden neue Verfahren wie bspw. RFID entwickelt und deren Anwendungsspektrum auf das Bauwesen erweitert. Eine ganze Reihe von Anwendungen ist inzwischen im Baustellenalltag etabliert oder wird in bauspezifischen Forschungsvorhaben untersucht und weiterentwickelt.

NAVON [62] zählt zu den modernen Erfassungstechnologien, die zur Registrierung von Bau-Ist-Informationen genutzt werden können, Barcodes, Radio Frequency Identification (RFID), Bildinformationssysteme, Global Positioning System (GPS) und Laserscanning.

Im Folgenden werden die Methoden zur Erfassung des Bau-Ist-Zustandes hinsichtlich ihrer Eignung sowie Anwendungsmöglichkeiten analysiert. Näher dargestellt werden nur Systeme, die der Identifikation der in Abschnitt 3.2 (S. 50) aufgeführten Erfassungsgrößen dienen können. Um den Rahmen der Arbeit nicht zu sprengen, wurden aus der Vielzahl der Anwendungen jeweils ein bis zwei Anwendungsbeispiele aus Praxis und Forschung ausgewählt.

Die Mehrzahl der Forschungsvorhaben auf dem Gebiet der Bau-Ist-Datenerfassung haben die Entwicklung bzw. Anwendung eines einzelnen Erfassungssystems (z. B. RFID oder Laser) in den Mittelpunkt ihrer Forschung gestellt. Die Beschränkung auf eine bestimmte Technik setzt dem Ziel der Arbeit jedoch allzu schnell Grenzen. Deshalb wird eine Kombination verschiedener Erfassungsmethoden angestrebt.

Es wurden verschiedene Erfassungsmethoden untersucht, neben Auto-Ident-Verfahren auch technische Anwendungen, die der Erfassung geometrischer Daten dienen, wie Tachymetrie, Laser Scanner, Bildinformationssysteme bzw. Photogrammetrie. Alle Erfassungsmethoden wurden hinsichtlich des Aufwandes verglichen, der notwendig ist, um aus den erfassten Daten auf die zuvor genannten Baufortschrittsdaten zu schließen.

Mit Hilfe des Vergleiches wurden RFID, Barcodes und das Berichtswesen als besonders geeignet identifiziert. Deshalb stellen die folgenden Ausführungen die drei Erfassungsmethoden in den Mittelpunkt. Die Auswertung geometrischer Daten hat sich im Vergleich als sehr aufwendig herausgestellt. Zur Erfassung der geometrischen Daten ist der Einsatz z. T. teurer technischer Geräte notwendig. Anschließend müssen die geometrischen Daten mit hohem Aufwand ausgewertet werden, um auf die in Abschnitt 3.2 beschriebenen Baufortschrittsdaten schließen zu können (siehe Tabelle 15). Aus diesem Grunde wird die Auswertung geometrischer Daten in der Arbeit nicht weiter verfolgt. Der Einsatz von GPS, welcher häufig in Zusammenhang mit der Bau-Ist-Daten-Erhebung beschrieben ist, wird ebenfalls nicht weiter verfolgt, da in den vorangegangenen Kapiteln herausgearbeitet wurde, dass Positionsdaten für das Ziel der Arbeit nicht notwendig sind.

Tabelle 15: Vergleich Erfassungsmethoden

Methode	RFID	Barcode	GPS	Tachymetrie	Laserscanner	Bildinformation
Art der Information	Objekt-ID		Koordinaten/Position	Bauteil-Abmessungen		
Geräteaufwand	mittel	gering	mittel	mittel	hoch	mittel
Auswertungsaufwand zur Ermittlung Baufortschritt	gering		hoch	hoch		

4.2.1 Radio Frequency Identification

RFID ist eine Technik, die zur Identifizierung von Objekten verwendet wird. Sie basiert auf der berührungs- und sichtkontaktlosen Datenerfassung sowie Datenübertragung mittels elektromagnetischer Wellen bzw. elektromagnetischer Kopplung [40].

Ein RFID-System besteht aus zwei Komponenten, einem Transponder (sogenannten Tags¹⁴ oder Smart-Labels) und einem Lese- bzw. Schreibgerät. Der prinzipielle Aufbau eines RFID-Systems ist in Abbildung 34 dargestellt.

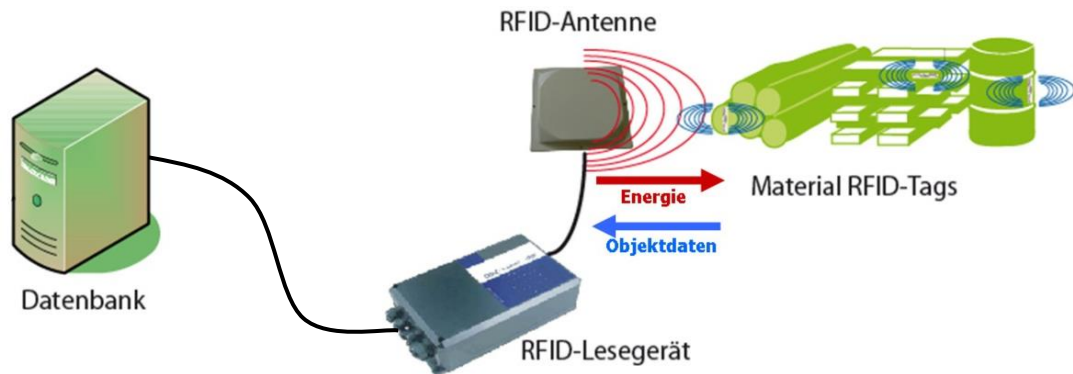


Abbildung 34: Elemente eines RFID-Systems [40]

Objekte werden mit Transpondern ausgestattet. Diese können begrenzt Informationen digital speichern. Mit Hilfe eines Lese- bzw. Schreibgerätes können die Daten berührungslos ausgelesen bzw. je nach System auch aktualisiert werden. Lesegeräte finden Anwendung sowohl als mobile Handlesegeräte, die per Funkverbindung (z. B. Bluetooth) mit einem Zentralrechner kommunizieren können, als auch als ortsgebundene, feste Leseeinheiten, an denen die RFID-Tags vorbeigeführt werden. Ein wichtiger Aspekt ist die sogenannte Pulkerkennungsfunktion (bulk reading). Sie ermöglicht das Auslesen mehrerer Transponder in einem Lesebereich.

Es gibt eine Vielzahl an Fachliteratur zum Thema RFID. Eine ausführliche Beschreibung der Funktionsweise ist bspw. bei FINKENZELLER [19] zu finden. Im Bauwesen wird RFID zur Identifikation von Personal-, Geräte-, Materialressourcen, Dokumenten sowie Vorgängen eingesetzt. In [38] gibt HELMUS einen Überblick über den Stand der Forschung und Praxis bei RFID-Anwendungen im Bauwesen.

4.2.2 Barcode

Barcodes zählen zu den optischen Codierungen, zum Auslesen der Daten wird Licht genutzt. Im Gegensatz zu RFID muss deshalb Sichtkontakt bestehen. In den letzten Jahren wurden verschiedene Formen des Barcodes entwickelt. Neben dem bekannten 1D-Code (vgl. [48]), welcher aus Strichen besteht, wurden 2D-, 3D- (vgl. [55]) und 4D-Codes [53] entwickelt.

¹⁴ engl.: Etikett

Die Erfassung der Codemuster erfolgt mit Hilfe von mobilen oder stationären Lesegeräten (vgl. [48], [70]). Die Lesegeräte erfassen die Muster und wandeln sie in elektrische Signale um, welche anschließend decodiert werden. Eine ausführliche Beschreibung der Funktionsweise ist bspw. bei JESSE [48] zu finden.

Im Bauwesen werden Barcodes zur Identifikation von Personal-, Geräte-, Materialressourcen, Dokumenten sowie Vorgängen eingesetzt.

4.2.3 Bautagebuch und Berichtswesen

Wie bereits angesprochen, ist die auf Baustellen am besten etablierte Dokumentationsform für den Bauablauf nach wie vor das Bautagebuch. Es wird auf nahezu allen Baustellen geführt. Allerdings variieren die Art der Führung und die inhaltliche Ausgestaltung. Das Bautagebuch kann sowohl traditionell von Hand als auch computergestützt digital geführt werden. Typischerweise werden für jeden Arbeitstag auf der Baustelle die folgenden, mit dem Baufortschritt verbundenen Angaben in einem Bautagebuch festgehalten:

- Datum,
- Wetter (Temperatur, Bewölkung, Niederschlag),
- auf der Baustelle beschäftigte Gewerke,
- Anzahl der Arbeiter eines Unternehmens,
- eingesetzte Baugeräte und -maschinen,
- verwendete Materialien,
- Materiallieferungen,
- Eingang von Ausführungsplänen,
- Besprechungen, deren Ergebnisse sowie Teilnehmer,
- tatsächliche oder vermutete Mängel und Beschädigungen,
- Prüfprozesse, Abnahmen und deren Ergebnisse sowie
- eine Beschreibung des Baufortschrittes.

Die Qualität der Berichtsführung ist kritisch zu hinterfragen. GRIEBEL schreibt dazu: „Das Berichtswesen auf Baustellen, welches bislang vornehmlich von Hand dokumentiert wird, ist in seiner Qualität sehr stark von den dafür verantwortlichen Personen abhängig. Eine zuverlässige Quelle ist es nur, wenn es kontinuierlich und verantwortungsvoll geführt wird“ [29].

Um den vorhandenen Datenfundus nutzbar zu machen, muss der Inhalt des Bautagebuches vereinheitlicht und durch klare Vorgaben fixiert werden. Außerdem ist eine Digitalisierung der Daten notwendig.

Digitale Bautagebücher sind in der Praxis bereits etabliert und werden auf vielen Baustellen eingesetzt. Sie dienen der strukturierten Leistungserfassung, wobei die Daten bspw. mit Hilfe von Pocket-PCs oder Smartphones dokumentiert werden. Häufig arbeiten digitale Bauta-

gebücher internetbasiert. So können die Daten zentral auf einem Server gesammelt und abgelegt werden. Die Verknüpfung der elektronisch aufgenommenen Daten mit einem Bauwerksinformationsmodell oder anderen Projektmanagementsystemen (PMS) wird immer weiter entwickelt. Digitale Bautagebücher gibt es von vielen Anbietern. Bei einigen Anwendungen erfolgt die Erfassung zum Teil mit Hilfe von RFID.

4.3 Exemplarische Erfassung von Ist-Daten

Im Folgenden werden ausgewählte Anwendungsbeispiele für RFID, Barcodes und Bautagebücher, abgestimmt auf die zu erfassenden Größen, dargestellt. Auf diese Anwendungen soll im späteren Erfassungskonzept zurückgegriffen werden.

Grundsätzlich sind Erfassungsgrößen, die mit „geplant“ bezeichnet werden, der Bauablaufplanung zu entnehmen.

4.3.1 Erfassung von Vorgängen

Für die Beschreibung des aktuellen Baufortschrittes müssen die folgenden Informationen hinsichtlich Vorgängen und Ereignissen erfasst werden. Es muss der aktuelle Status jeden Vorgangs in Form von „a = progressing“ oder „e = occurred“ erfasst werden. Für ausgewählte Prozesse ist weiterhin der Fertigstellungsgrad, abgestimmt auf Taktlängen bzw. den prozentualen Fortschritt oder die Außentemperatur, zu erfassen.

Verschiedene Konzepte erfassen den Baufortschritt durch die Zuweisung eines Bearbeitungsstatus zu einem Vorgang. Oftmals sind diese Konzepte jedoch auf die Montage von Bauwerken aus Fertigteilen beschränkt.

BABIČ et al. verfolgen ein Konzept, mit dessen Hilfe der Montagefortschritt für Bauwerke aus Fertigteilen erfasst wird. Bauteile, deren Montage abgeschlossen ist, werden durch den Bauleiter in einem BIM als „montiert“ markiert. Somit ist der aktuelle Bau-Ist-Zustand erfasst. Die Autoren verweisen auf eine zukünftige Automatisierung durch den Einsatz von RFID [3].

Ein System, das den aktuellen Bau-Ist-Zustand unter Verwendung von RFID erfasst, hat HU WENFA [42] vorgestellt. Das System basiert auf einem 3D-Modell und einem Bauablaufplan, welche in einem 4D-Modell zusammengeführt werden. An sogenannten Schlüsselkomponenten des Bauwerks, im beschriebenen Projekt Fertigteile aus Stahl, werden RFID-Tags mit Informationen zum jeweiligen Bauteil, u. a. einer Bauteil-ID, angebracht. Anhand der RFID-Tags wird dann der Baufortschritt verfolgt, indem die RFID-Tags nach Abschluss eines Vorgangs, wie der Lieferung oder dem Einbau, mit einem mobilen Lesegerät gescannt werden. Die Informationen werden automatisch übermittelt, das Bauwerksmodell aktualisiert und ein Soll-Ist-Abgleich vorgenommen.

Noch weiter geht der Ansatz von YAGI et al. [92]. Zusätzlich zu der eindeutigen Bauteil-ID, mit deren Hilfe ebenfalls der Baufortschritt erfasst wird, werden bspw. Arbeitsanweisungen zur Installation des Bauteils auf dem RFID-Tag gespeichert, auf welchen die Arbeiter zugreifen können.

Ein ähnliches Konzept verfolgen RASDORF und HERBERT [69]. Sie beschreiben, wie Barcodes auf der Baustelle eingesetzt werden können, um den aktuellen Status eines Vorgangs festzustellen. Zu diesem Zweck wird jedem Vorgang und jedem Arbeiter eine als Barcode verschlüsselte Identifikationsnummer (Abbildung 35) zugeteilt.

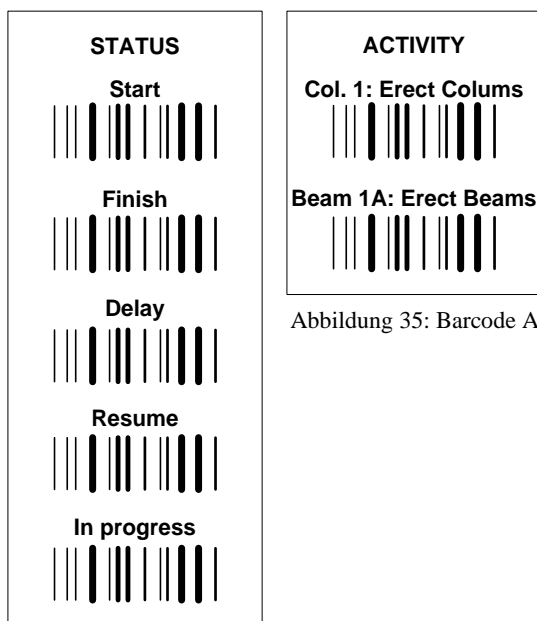


Abbildung 35: Barcode Activity-ID [69]

Abbildung 36: Barcode Status-ID [69]

Weiterhin wird für jeden Status eines Vorgangs ein spezieller Code entworfen und auf einem Arbeitsblatt abgedruckt (Abbildung 36). Wenn ein Vorgang durch einen Arbeiter begonnen wird, dann muss dieser die Barcodes scannen, die seine eigene Identifikationsnummer, den Vorgang und den Status des Vorgangs (in diesem Falle: „begonnen“) angeben. Wenn der Vorgang abgeschlossen wurde, so wird erneut ein entsprechender Code gescannt. Die Daten werden an einen Server übertragen und somit der aktuelle Bau-Ist-Zustand zeitnah ermittelt.

Dokumente können ebenso mit Hilfe von Barcodes identifiziert werden [69]. FINCH et al. [18] hinterlegen auf dem Barcode neben einer Identifikationsnummer für das Dokument auch Angaben wie bspw. die Projektnummer oder das Datum der Erstellung.

RASDORF und HERBERT [69] führen verschiedene Anwendungsmöglichkeiten für Barcodes in einem Baustelleninformationssystem (Construction Information Management System – CIMS) zusammen. Das System umfasst die fünf Hauptanwendungen Terminplanung, Kostenkontrolle, Lagerkontrolle, Dokumentmanagement und ein System zur Eingabe von Informationen. Barcodes werden in diesem System zur Identifikation von Bauteilen und Material

sowie zur Überwachung von Bauprozessen eingesetzt. Die erfassten Daten werden via Funk an den Baustellenserver gesendet und im CIMS-System verarbeitet. Der tatsächliche Baufortschritt wird dann neu generiert und mit dem geplanten Fortschritt verglichen.

4.3.2 Erfassung von Personalressourcen

Für jede Personalressource ist deren Qualifikation bzw. Kombination von Qualifikationen aus einer vordefinierten Menge an Qualifikationen und deren tatsächlicher Einsatzbeginn sowie tatsächliches Einsatzenende in Form von Datum und Uhrzeit zu erfassen (siehe Abschnitt 3.2.2, S. 60). Der Bauablaufplanung sind der geplante Einsatzbeginn und das geplante Einsatzenende der Personalressourcen, ebenfalls in Form von Datum und Uhrzeit zu entnehmen. In der Literatur werden verschiedene Ansätze, welche zur Erfassung der Informationen genutzt werden können, beschrieben.

JASELSKIS et al. [46] haben sich u. a. mit der Erfassung von Arbeitszeiten mit Hilfe von RFID beschäftigt. Beim Betreten oder Verlassen der Baustelle wird ein „Tag“, der z. B. am Bauhelm befestigt oder im Ausweis befestigt sein könnte, ausgelesen und der Arbeiter somit identifiziert.

Ebenso sehen auch HELMUS und WEBER in der automatischen Zeiterfassung und Zugangskontrolle zur Baustelle mögliche Einsatzgebiete für RFID [39]. HELMUS schreibt, dass verschiedene Zugangskontrollsysteme für Baustellen entwickelt wurden. Der Zugang zur Baustelle erfolgt bspw. über ein Drehkreuz, welches den Zugang freigibt, wenn der Mitarbeiter über einen Baustellenausweis mit integriertem Transponder verfügt [36]. Somit kann neben der Zugangskontrolle auch die Erfassung von Arbeitszeiten erfolgen.

RASDORF und HERBERT [69] haben einen ähnlichen Ansatz verfolgt. Sie nutzen Barcodes zur Personenidentifikation, um Arbeitszeiten, den Zugang zur Baustelle und die Material- sowie Werkzeugausgabe zu kontrollieren. Beim Betreten der Baustelle wird der Barcode des Bauarbeiters gescannt und er somit als „anwesend“ identifiziert.

Auch im Bautagebuch wird üblicherweise festgehalten, welche Arbeiter am jeweiligen Tag auf der Baustelle gearbeitet haben. Als Beispiel für eine solche Anwendung sei hier ein digitales Informationssystem zur Baustellendokumentation und Leistungsfeststellung von PFLUG und MOTZKO aufgeführt [65]. Es baut auf einem digitalen Bautagebuch auf und ist eine Datenbank, in der Daten wie Personal- und Geräteeinsatz zentral abgelegt werden.

Zur Erfassung der Qualifikation sowie des tatsächlichen Einsatzbeginns und Einsatzenendes sind alle drei Methoden geeignet. Eine Anpassung der Erfassungsmethode an die gewünschte Information ist in jedem Fall notwendig, um sicherzustellen, dass auch tatsächlich Datum und Uhrzeit des tatsächlichen Einsatzbeginns und Einsatzenendes erfasst werden. Weiterhin ist die vordefinierte Menge an Qualifikationen mit dem jeweiligen Erfassungssystem zu ver-

knüpfen. Eine unmittelbare Übertragung der Daten in Echtzeit auf einen Server verringert die Möglichkeiten zur Manipulation der Daten und steigert somit die Zuverlässigkeit des Erfassungssystems.

Nur wenn die Erstellung des Barcodes oder Beschreibung der RFID-Tags gesondert zwischengeschaltet wird, kann die Erfassung des geplanten Einsatzbeginns und Einsatzendes mit Hilfe der Auto-Ident-Verfahren RFID oder Barcode erfolgen, was einen Zusatzaufwand nach sich zieht. Im Allgemeinen kann die Angabe dieser Zeitpunkte Verträgen, firmenspezifischen Unterlagen zur Personalanforderung oder Absprachen entnommen werden. Die Angaben unterliegen oft Änderungen; die Erfassung der Angaben sollte deshalb flexibel gehalten werden. Sinnvoll für die Beschreibung der geplanten Zeitpunkte ist somit die Erfassung mit Hilfe eines digitalen Bautagebuches.

4.3.3 Erfassung von Gerätere Ressourcen

Gemäß der Herleitung aus Abschnitt 3.2.3 (S. 61) sind für jede Materialressource der Gerätetyp und die Geräteeigenschaften aus einer jeweils vordefinierten Menge, der geplante Einsatzbeginn und das geplante Einsatzende sowie der tatsächliche Einsatzbeginn und das tatsächliche Einsatzende in Form von Datum und Uhrzeit zu identifizieren.

Ebenso wie die Personalressourcen können auch die Gerätere Ressourcen sowie der tatsächliche Einsatzbeginn und das tatsächliche Einsatzende mit entsprechenden Anpassungen durch RFID, Barcodes oder das Bautagebuch erfasst werden. Für die Erfassung des geplanten Einsatzbeginn- und Einsatzendzeitpunktes wird aus den gleichen Gründen wie bei den Personalressourcen die Verwendung eines digitalen Bautagebuches als sinnvoll erachtet.

In der Literatur werden verschiedene Anwendungen zur Erfassung von Geräten mit Hilfe von RFID beschrieben; verwiesen sei an dieser Stelle auf HELMUS et al. Die Autoren führen in [36] eine Reihe von Systemen aus Praxis und Forschung zur Identifizierung und Erfassung von „Fahrzeugen, Anhängern, Containern, etc.“ an, welche die RFID-Technologie nutzen. Ebenso gibt das RFID Centre [74] an, dass Fahrzeuge durch RFID identifiziert werden können. Fml nutzt RFID zur Identifikation von Betriebsmitteln [38].

Die Assion Electronic GmbH, ein Anbieter von elektronischen Geräten sowie von Hard- und Software für logistische Systeme, hat mit Unternehmen aus der Bauwirtschaft das Werkzeug- und Gerätemanagementsystem „WoDaBau“ entwickelt. Bei dem System werden Werkzeuge, Geräte und Verbrauchsmaterialien unter Einsatz von RFID- und Barcodetechnik gekennzeichnet. Dabei liegt der Schwerpunkt der Transponderkennzeichnung zurzeit noch bei den Werkzeugen und Geräten, die mit Hilfe von robusten Transpondern mit einer ID versehen werden.

Am Lehrstuhl für „Fördertechnik Materialfluss Logistik“ an der TU München wurde die RFID-Theke entwickelt. Sie dient der eindeutigen Identifizierung von Klein- und Mietgeräten sowie der Automatisierung des Geräteverleihs in der Bauindustrie. Geräte werden mit passiven RFID-Transpondern ausgestattet. Diese werden an der Ausleihtheke ausgelesen und die Geräte somit eindeutig identifiziert. Die Buchung der Geräte erfolgt dann automatisiert mit Hilfe einer Spezialsoftware [50].

Schneider beschäftigt sich ebenfalls am Lehrstuhl für „Fördertechnik Materialfluss Logistik“ mit der Identifikation von Betriebsmitteln und beschreibt die Zielrichtung wie folgt: „Ziel des Forschungsprojekts war die aufwandsarme, zeitnahe Identifikation von Betriebsmitteln mit Hilfe eines RFID-Systems, um eine deutlich verbesserte Kontrolle der Teile zu ermöglichen. [...] Ein Forschungsschwerpunkt befasste sich auch mit der Konzeption von für die Bauindustrie geeigneten Identifikationspunkt-konzepten. Diese beinhaltete auch die Entwicklung eines mobilen, autarken Identifikationssystems, welches den schwierigen Umwelt- und Umgebungseinflüssen auf der Baustelle gewachsen ist“ [31].

4.3.4 Erfassung von Materialressourcen

Für Materialressourcen sind der Materialtyp (aus einer vordefinierten Menge), die Materialmenge (Wertangabe gemäß vordefinierter Mengenangabe) und bei Mehrwegmaterial der geplante Austrittszeitpunkt (Datum, Uhrzeit) bei der Lieferung zu erfassen (Abschnitt 3.2.4, S. 63). Beton nimmt eine Sonderstellung ein, für dieses Material ist zusätzlich der geplante Lieferzeitpunkt zu bestimmen.

Materialtyp und -menge können bei Lieferung mit entsprechenden Anpassungen durch RFID, Barcodes oder ein Bautagebuch erfasst werden. Für die Erfassung des geplanten Einsatzbeginns und Einsatzendes wird aus den gleichen Gründen, wie bei den Personalressourcen, die Verwendung eines digitalen Bautagebuches als sinnvoll erachtet.

Die Materiallogistik im Bauwesen ist ein eigenes Forschungsgebiet, welches seit vielen Jahren durch immer neue Ansätze von verschiedenen Forschungseinrichtungen in den Mittelpunkt ihrer Betrachtungen gerückt wird. Da die Materiallogistik eine wichtige Rolle im Baustellenalltag spielt, wurde eine ganze Reihe von Ansätzen zur Identifikation von Material- oder Fertigteillieferungen entwickelt.

Verschiedene Wissenschaftler haben sich mit der Identifikation und Erfassung des auf Baustellen gelieferten Materials mit Hilfe von RFID-Anwendungen beschäftigt. Sie haben nachgewiesen, dass RFID zur Erfassung von Materialressourcen genutzt werden kann. Die RFID-Tags können einzeln, aber auch im Pulk, bspw. bei der Durchfahrt durch ein Portal, ausgelesen werden.

Die ARGE RFID [93] beschäftigt sich mit verschiedenen RFID-Anwendungen im Bauwesen. Im Rahmen des Teilprojektes „InWeMo – Integriertes Wertschöpfungsmodell“ und weiterführender Projekte wurden Ansätze zur Verbesserung der Materiallogistik auf Baustellen hinsichtlich Warenein- und -ausgang, die Erfassung und Dokumentation der Waren sowie Verladesteuerung und -kontrolle (Dokumentation Maschinen- und Materialentnahme) untersucht.

JASELSKIS et al. [47] beschrieben eine Anwendung von RFID zur Erfassung von Materialressourcen und untermauerten ihre Ergebnisse durch ein Pilotprojekt. Ebenso haben sich SONG [83] und STONE [85] mit der Identifikation und Verfolgung (Tracking) von Bauteilen (vorgefertigte Teile wie Stahlträger oder Fertigteile) beschäftigt.

Eine besondere Anwendung wurde von JASELSKIS et al. [46] entwickelt. Sie nutzt die RFID-Technologie zur Steuerung von Betoniervorgängen. Das Konzept sieht vor, dass bei der Auftragserstellung Angaben zur Bestellung, wie Betonklasse, ID-Nummer des Lieferfahrzeugs, Datum und Zieladresse an die Herstellerfirma übermittelt und auf einem RFID-Tag hinterlegt werden. Die Daten werden durch ein fest am Eingangstor der Baustelle installiertes RFID-Lesegerät ausgelesen, zum Baustellenserver gesendet und mit der Bestellorder abgeglichen, wenn das Lieferfahrzeug auf der Baustelle ankommt. Verlässt das Betonfahrzeug die Baustelle, wird der RFID-Tag wiederum gescannt und die erneute Einsatzbereitschaft des Lieferfahrzeugs somit festgestellt.

Am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF beschäftigt man sich mit dem „Aufbau einer durch die Integration von RFID und Telematik optimierten Informationslogistik für Anlagenbaustellen-Prozesse. Ausrüstungslieferanten, Anlagenbauer, Generalunternehmer und Dienstleister im Bereich des Anlagenbaus sollen mit diesen Technologien bei der Planung, Durchführung und Optimierung verschiedener, für den Baustellenbetrieb relevanter Prozesse unterstützt werden. Entwickelt wurden webbasierte und mobile Anwendungen zum RFID-gesicherten Warenübergang, dem Werkzeugmanagement mit RFID, der Lagerplatz- und Bestandsverwaltung auf der Baustelle sowie zur Ortung von Objekten auf Baustellen“ [80], (vgl. [79]).

RASDORF und HERBERT [69] haben sich mit der Identifikation von Materiallieferungen (Stück-, Schütt- und Verbrauchsgütern, wie Schrauben) durch Barcodes beschäftigt und die Nutzungspotentiale des Systems beschrieben.

4.3.5 Vergleich der Erfassungsmethoden

Barcodes und RFID gehören zu den Auto-Ident-Techniken, also den automatisierten Techniken zur Identifizierung, Datenerfassung, Datenerhebung sowie Datenübertragung (vgl. [48], [40]). Somit unterscheiden sich die beiden Verfahren ganz grundsätzlich von einem Bautagebuch. Nachfolgend sollen die Vor- und Nachteile (vgl. [36], [74], [88], [75]) sowie Ein-

satzmöglichkeiten aller drei Erfassungsmethoden verglichen und bewertet werden. Die Ergebnisse der Bewertung werden am Ende dieses Abschnittes in Tabelle 16 zusammengefasst. Die Zusammenstellung in der Tabelle bildet eine Entscheidungsgrundlage für die Abwägung, welche Erfassungsmethoden eingesetzt und kombiniert werden.

Ein Vorteil der Auto-Ident-Techniken besteht darin, dass die Daten codiert sind und von einem Lesegerät berührungslos ausgelesen werden. Ihr Einsatz ist zeitsparend, da das Eintippen von Informationen entfällt. Im Vorfeld ist eine Vorbereitung notwendig. Alle am Projekt Beteiligten, wie bspw. Lieferanten oder verschiedene Baufirmen, müssen sich an die Systemvorgaben des Projektes halten. Wie die vorliegende Arbeit zeigt, muss der Einsatz aller Erfassungsmethoden gut und detailliert vorbereitet werden, um den Anforderungen an die ereignisbasierte und zeitnahe Datenerfassung im Hinblick auf die Bauprozesssimulation gerecht zu werden.

Das Auslesen eines Barcodes erfordert direkten Sichtkontakt, insofern ist die mögliche Distanz zwischen Code und Lesegerät relativ gering. Sie hängt vom jeweiligen System ab. In der Fachliteratur werden unterschiedliche Angaben zur maximalen Distanz gemacht. TZENG [88] gibt eine Maximaldistanz von 12 m an. Dieser Wert ist sehr hoch; allgemein wird mit deutlich geringeren Distanzen gearbeitet. Im Gegensatz zu Barcodes muss zwischen dem RFID-Transponder und dem RFID-Lesegerät kein Sichtkontakt bestehen, da ein Funksignal zum Auslesen verwendet wird. Die Distanzen, die durch RFID abgedeckt werden können, sind wesentlich größer als bei Barcodes. Je nachdem, ob ein passives oder aktives System eingesetzt wird, können bis zu 100 m (vgl. [88]) überwunden werden. Die Erfassung der Daten mit Hilfe eines Bautagebuches basiert auf den Beobachtungen des Bauleiters, der sie in das Bautagebuch einträgt. Distanzbetrachtungen spielen keine Rolle.

RFID-Transponder haben den Vorteil, dass sie wiederbeschreibbar sein können. Im Falle einer Änderung müssen sie nicht ausgetauscht werden, sondern können mit wenig Aufwand neu beschrieben werden. Barcodes müssen bei Änderungen neu erstellt und ausgetauscht werden. Ein Bautagebuch sollte durch Vorgaben die Inhalte soweit wie möglich vorstrukturieren, um möglichst konkrete Aussagen zu erhalten; ggf. können diese Vorgaben angepasst werden.

Mit Hilfe eines RFID-Transponders können deutlich mehr Informationen bereitgestellt werden als durch einen Barcode. Ein Bautagebuch unterliegt keiner Beschränkung hinsichtlich der Datenmengen.

Barcodes und RFID-Transponder sind auf der Baustelle Umwelteinflüssen wie Sonneneinstrahlung oder Feuchtigkeit ausgesetzt, außerdem können sie verschmutzt oder beschädigt werden. Bei Barcodes lässt sich dieses Problem z. B. durch eine Laminierung lösen [7], [70]. RFID-Transponder können besser geschützt werden, indem sie bspw. innerhalb eines Gerätes oder in einer Schutzhülle angebracht werden. Das macht sie weitaus weniger fehleranfällig.

lig. Im Allgemeinen weisen sie keine Störungen bei Verschmutzungen auf und funktionieren auch bei leichten Beschädigungen weiter, dagegen funktionieren Barcodes sowohl bei Verschmutzungen als auch bei Beschädigungen nicht mehr. Barcodes und RFID-Tags müssen vor Wasserzutritt geschützt werden. Die Übertragung der RFID-Signale kann durch metallische Gegenstände oder Funkwellen stark beeinträchtigt werden. In den letzten Jahren wurden RFID-Systeme in dieser Hinsicht jedoch verbessert [24], [51].

Ein Vorteil von RFID ist die Möglichkeit, viele Transponder nahezu zeitgleich auszulesen. Das ermöglicht auch den Einsatz von Erfassungsportalen, die viele Transponder bspw. beim Eintritt einer Materiallieferung auf die Baustelle schnell und vollautomatisch auslesen (vgl. [83], [38]). Barcodes müssen einzeln, im Allgemeinen durch einen Handscanner ausgelesen werden. Insgesamt ist die Lesegeschwindigkeit bei RFID-Systemen höher als bei Barcodes.

Barcodes sind einfach anzubringen und auch wieder zu entfernen, leichter als RFID-Transponder. Die Nutzung von Barcodes ist preiswerter als der Einsatz eines RFID-Systems.

Tabelle 16: Vergleich Vor- und Nachteile der Erfassungsmethoden

Kriterium	Barcode	RFID	Bautagebuch
Erfassungsaufwand	niedrig	niedrig	hoch
Lese-/Erfassungsdistanz	niedrig	hoch	hoch
Sichtkontakt	erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich
Anpassungsfähigkeit	nicht wiederbeschreibbar	wiederbeschreibbar	anpassbar
Datenmenge	niedrig	hoch	hoch
Fehlerrate bei Verschmutzung oder Beschädigung	hoch	niedrig	nicht vergleichbar
Fehlerrate durch metallische Gegenstände oder Funkwellen	nicht vorhanden	hoch	nicht vergleichbar
Kosten	niedrig	hoch	nicht vergleichbar
Pulkerfassung	nicht möglich	möglich	nicht vergleichbar
Lesegeschwindigkeit	niedrig	hoch	nicht vergleichbar

5 Entwicklung Erfassungskonzept

Dieses Kapitel führt die vorangegangenen Betrachtungen in die Entwicklung eines Erfassungskonzeptes zusammen. Der Einsatz der Erfassungsmethoden wird diskutiert. Schließlich wird eine Kombination von Erfassungsmethoden festgelegt.

Eine hierarchische Ordnung des Erfassungskonzeptes wird eingeführt, um den täglichen Aufwand minimal und übersichtlich zu halten.

5.1 Vorgänge und Ereignisse

Tabelle 17 zeigt die Informationen, welche für jeden Vorgang zur Bestimmung des aktuellen Baufortschrittes bestimmt werden müssen. In der Tabelle sind außerdem mögliche Erfassungsmethoden, die im vorangegangenen Kapitel identifiziert wurden, sowie bisher gebräuchliche Quellen für die jeweilige Information aufgeführt.

Tabelle 17: Zuordnung Erfassungsmethoden zu Informationsquellen für Vorgänge

Information	Mögliche Erfassungsmethode	Typische Quellen
a = progressing (Identifikation Status)	Bautagebuch, RFID, Barcode	Bautagebuch
e = occurred (Identifikation Status)		Bautagebuch, punktuell Protokolle
Fertigstellungsgrad abgestimmt auf <ul style="list-style-type: none">▪ Taktlängen▪ prozentuale Fertigstellung	Bautagebuch (RFID und Barcode mit hohem Zusatzaufwand)	Bautagebuch
Temperatur	Bautagebuch	Bautagebuch

Das vorangegangene Kapitel hat gezeigt, dass es verschiedene Anwendungsbeispiele gibt, welche den Status von Vorgängen mit Hilfe von Barcodes oder RFID erfassen. Die Anwendungen sind zumeist auf Bauwerke beschränkt, welche aus Fertigteilen errichtet werden. Fertigteile haben den großen Vorteil, dass Barcodes oder Transponder einfach an den Bauteilen befestigt werden können und somit eine eindeutige Identifizierung des Bauteils möglich ist.

Weiterhin sind die Vorgänge, die an die Bauteile geknüpft sind, immer die gleichen (Produktion, Lieferung, Montage). Der Aufbau eines Erfassungskonzeptes, das wie bspw. jenes von RASDORF und HERBERT [69] (siehe Abschnitt 4.3.1, S. 79) aus den drei Arbeitsschritten

- scannen der Bauteil-ID,
- scannen der Vorgangs-ID und
- scannen der Status-ID

besteht, ist somit für Fertigteile relativ einfach und übersichtlich.

Bei einem Bauwerk, welches wie die Brückenkappe aus einer Vielzahl von vor Ort gefertigten Komponenten besteht, ist der Einsatz von Auto-Ident-Techniken zur Identifizierung von Vorgängen viel aufwendiger. Die Markierung eines Bauteils durch einen RFID-Tag oder einen Barcode ist schwer umsetzbar, da die Bauteile zum Teil ihren Zustand verändern. Bspw. werden Grundierungen flüssig aufgetragen und härten dann aus. Durch die Veränderung wird die einmalige Befestigung am Bauteil unmöglich. Es entsteht eine Fehlerquelle.

Darüber hinaus sind die Vorgänge, die mit einem Bauteil verknüpft sind, viel individueller und ihre Erfassung somit anspruchsvoller. Wenn man das auf Barcodes basierende Erfassungskonzept von RASDORF und HERBERT (siehe S. 80) zugrunde legen würde, dann müsste die Erfassung mit Hilfe einer Vielzahl von Vordrucken erfolgen. Es entstehen ein großer Zusatzaufwand und eine hohe Verwechslungsgefahr.

Die gleichen Probleme zieht der Einsatz von RFID-Tags nach sich. Bei der Verwendung von RFID-Tags ist ebenfalls deren Befestigung am Bauteil problematisch. Ebenso würden die Erfassung des aktuellen Vorgangs und dessen Status einen erheblichen Zusatzaufwand verursachen.

Die Erfassung des Status eines Vorgangs mit Hilfe der Auto-Ident-Techniken basiert wie im Berichtswesen auf der Beobachtung eines Mitarbeiters. Nur die Digitalisierung der Information erfolgt durch das Auslesen der Barcodes oder RFID-Tags. Eine Vervollständigung der Daten ist in den vorgestellten Beispielen wie dem Konzept von HU WENFA [42] (siehe Seite 79) aber trotzdem noch notwendig. Das Auslesen muss durch ein Handlesegerät einzeln erfolgen, eine Massenerfassung ist nicht möglich.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass der Einsatz von Auto-Ident-Komponenten zur Erfassung von Vorgängen und Ereignissen bei Bauwerken, die nicht aus Fertigteilen montiert werden, wenige Vorteile hat, aber einen hohen Aufwand verursacht. Da der Einsatz von Auto-Ident-Technologien zur Erfassung der Vorgänge und Ereignisse aus den vorangestellten Gründen nicht erstrebenswert ist, wird die Nutzung eines digitalen Bautagebuches vorgeschlagen. Die folgenden, in Tabelle 18 aufgeführten Informationen sind im digitalen Bautagebuch einzutragen. In der Tabelle sind die Vorgänge hellgrau markiert, deren Erfassung

über die Feststellung „begonnen“ hinausgeht. Mittelgrau angelegte Vorgänge müssen nicht erfasst werden. Alle Felder, die in einem Bautagebuch auszufüllen sind, wurden nummeriert.

Tabelle 18: Erfassungsgrößen für alle Vorgänge des Beispielprozesses¹⁵

Nr.	Bezeichnung	be- gonnen	Fertigstellungsgrad		Tem- peratur
			[Takte]	[%]	
A ₁₀	Kappen – Absteckung	1			
A ₂₀	Rohbau-Ist-Höhen – Aufnahme	2			
A ₃₀	Betondeckung – Aufnahme/Überprüfung	3			
A ₄₀	Ersatzgradiente – Planung → Übergabe Daten (A ₂₀ und A ₃₀) an Planer	4			
A ₅₀	Ersatzgradiente – Auswertung Soll-Ist	5			
A ₆₀	Untergrund – Kugelstrahlen		6		
A ₇₀	Kappenbereiche – Säuberung	7			
A ₈₀	Abreißfestigkeit Untergrund – Bestimmung	8			
A ₉₀	Rautiefe Untergrund – Bestimmung	9			
A ₄₀₀	Material für Grundierung transportieren				
A ₄₀₅	Grundierung herstellen	10			
A ₄₀₆	mit Quarzsand – Abstreuerung	11			
A ₄₀₇	Grundierung – Aushärtung	12			13
A ₄₀₈	überschüssiger Quarzsand – Beseitigung	14			
A ₄₁₀	Material für Versiegelung transportieren				
A ₄₁₅	Versiegelung herstellen	15			
A ₄₁₆	Versiegelung – Aushärtung	16			17
A ₄₂₀	Abreißfestigkeit Versiegelung – Bestimmung	18			
A ₄₃₀	Bitumenschweißbahnen transportieren				
A ₄₃₅	Bitumenschweißbahn – Verkleben		19		
A ₄₄₀	Rasselprobe Bitumenschweißb. durchführen	20			
A ₄₅₀	edelstahlkaschierte Schweißb. transportieren				
A ₄₅₅	edelstahlkaschierte Schweißbahn – Verkleben	21			
A ₄₆₀	Schuttlage transportieren				
A ₄₆₅	Schuttlage – Verkleben		22		
A ₆₀₀	Fertigungsbocke – Montage	23			

Legende:

	Erfassung geht über die Feststellung „begonnen“ hinaus
	Vorgänge müssen nicht erfasst werden
Nr.	Felder, die in einem Bautagebuch auszufüllen sind

¹⁵ Ziffer nummeriert die hier vorgegebene Ordnungsnummer der Detailinformation.

Nr.	Bezeichnung	be- gonnen	Fertigstellungsgrad [Takte] [%]		Tem- peratur
A ₆₁₀	Bewehrung zu Fertigungsbock transportieren				
A ₆₂₀	Schrammbordteile auf Überbau transportieren				
A ₆₂₅	Schrammborde – Vormontage u. Säuberung	24			
A ₆₃₀	Schrammborde – Ölen	25			
A ₂₀₀	Schienen – transportieren				
A ₂₀₅	Schienen – Vormontage	26			
A ₂₁₀	Schienen – verlegen	27			
A ₂₂₀	Unterwagen – transportieren				
A ₂₂₅	Unterwagen – Aufstellen	28			
A ₂₃₀	Unterwagen – Ballast – transportieren				
A ₂₃₅	Unterwagen – Ballast	29			
A ₂₄₀	KSW-Ausleger – transportieren				
A ₂₄₅	KSW-Ausleger – Vormontage			30	
A ₂₅₀	Ausleger an Unterwagen – Montage	31			
A ₂₆₀	Hängereinheiten – transportieren				
A ₂₆₅	Hängereinheiten – Vormontage			32	
A ₂₇₀	Hängereinheiten an KSW – Montage	33			
A ₇₀₀	KSW – Ausrichtung KSW	34			
A ₆₁₅	Bewehrungskörbe vorflechten		35		
A ₇₁₀	Bewehrung – Einheben und Positionieren	36			
A ₇₂₀	Bewehrung – Einbauen			37	
A ₇₃₀	Einbauteile – Montage	38			
A ₇₄₀	Bewehrung – Abnahme	39			
A ₇₄₅	Schalungselemente – Transportieren				
A ₇₅₀	Zuschalen	40			
A ₇₆₀	Schrammbord – Montage	41			
A ₈₀₀	Beton – Bestellung	42			
A ₈₁₀	Betonpumpe – Aufbau	43			
A ₈₂₀	Beton – Lieferung	44			
A ₈₂₅	Beton – Prüfen	45			
A ₈₃₀	Betonieren	46			
A ₈₃₅	Beton – Nachbehandlung	47			48
A ₈₄₀	Schrammbord – Entfernung u. Reinigung	49			
A ₈₅₀	Schalung – Lösen	50			
A ₈₆₀	Ausschalen	51			
A ₉₀₀	Schienen – Demontieren	52			
A ₉₁₀	Schienen – Transportieren				
A ₉₂₀	Schienen – Verlegen	53			
A ₉₃₀	Umsetzen KSW von Takt 1	54			
A ₉₄₀	KSW – Säubern	55			

Für die folgenden vier Vorgänge ist der tägliche Fertigstellungsgrad, abgestimmt auf die Taktlängen, zu erfassen. (Diese Prozesse unterliegen keiner Taktung. Ihre Ausführung dauert länger als acht Arbeitsstunden und erfolgt für die Gesamtfläche Innen- und Außenkappe, die Gesamtfläche Innenkappe oder die Gesamtfläche Außenkappe.)

- Untergrund – Kugelstrahlen (A_{60})
- Bitumenschweißbahn – Verkleben (A_{435})
- Schutzlage – Verkleben (A_{465})
- Bewehrungskörbe – Vorflechten (A_{615})

„Erfassung des Fertigstellungsgrades abgestimmt auf die Taktlängen“ bedeutet, dass die Fläche, welche an dem jeweiligen Tag fertiggestellt werden konnte, umgerechnet in die Anzahl der Taktflächen, angegeben werden muss. Die Anzahl der fertiggestellten Bewehrungskörbe kann absolut angegeben werden, da bekannt ist, wie viele Bewehrungskörbe für einen Takt notwendig sind.

Die Vorgänge

- KSW-Ausleger – Vormontage (A_{245}),
- Hängeeinheiten – Vormontage (A_{265})

sind unabhängig von der Taktung, dauern aber auch länger als acht Arbeitsstunden. Insofern ist täglich der prozentuale Fertigstellungsgrad zu bestimmen.

Der Vorgang

- Bewehrung – Einbauen (A_{720})

dauert, wie in Tabelle 5 auf Seite 48 angegeben, für den Bereich eines Taktes einer Innen- oder Außenkappe ca. 10 h. Insofern wird auch die Abschätzung des prozentualen Fertigstellungsgrades vorgeschlagen.

Da die Ausführungsdauer der Vorgänge

- Grundierung – Aushärtung (A_{407})
- Versiegelung – Aushärtung (A_{416})
- Beton – Nachbehandlung (A_{835})

von der Außentemperatur respektive der Trocknungsdauer abhängig sind, muss neben dem Abschluss des Vorgangs die Temperatur im Ausführungszeitraum erfasst werden.

Der Vorgang „Ausrichtung des Kappenschalwagens“ kann nicht beschleunigt werden, insofern genügt die Erfassung des Ereignisses „KSW ausgerichtet“.

Einige Vorgänge bieten Potential zur Reduzierung des Erfassungsaufwandes. Die Vorgänge, welche Materialressourcen „transportieren“ (mittelgrau hinterlegt), beschreiben Transporte auf der Baustelle. Material wird vom Lagerplatz zum Einbauort transportiert. Diese Vorgän-

ge haben mit wenigen Minuten eine geringe Dauer. Zwischen der Erfassung der Information, dass der Vorgang begonnen wurde, und der Erfassung des Ereignisses, dass der Transport abgeschlossen ist, liegt eine kurze Zeitspanne. Die Wahrscheinlichkeit, dass sie unterbrochen wird, ist gering. Insofern kann bei diesen Vorgängen der Erfassungsaufwand reduziert werden, indem nur das Ereignis erfasst wird, welches aussagt, dass die Materialressource an den Einbauort transportiert wurde.

Tabelle 19 listet alle Ereignisse des Beispielprojektes auf. In der Tabelle sind durch eine hellgraue Hinterlegung alle Ereignisse markiert, deren Erfassung über die Feststellung „eingetreten“ hinausgeht. Es handelt sich dabei um Prüfungen, deren Ergebnis „bestanden“, aber auch „nicht bestanden“ lauten kann. Wenn das Ergebnis „nicht bestanden“ ist, dann müssen Korrekturvorgänge wie in Abschnitt 3.2.1 (S. 52) beschrieben, veranlasst werden. Insofern ist gerade die Erfassung von Prüfereignissen von besonderer Bedeutung. Die Prüfungsvorgänge und ihre Protokollierung sind, wie in Abschnitt 4.1 (S. 68) erläutert, durch vertragliche Vereinbarungen oder Normen vorgeschrieben. Das bedeutet, dass von dem entsprechenden Dokument auf das Prüfungsereignis und somit auf den Eintritt des Ereignisses geschlossen werden kann. Eine digitalisierte Erstellung der Dokumente und Verknüpfung mit dem digitalen Bautagebuch wird angestrebt. Somit ist eine Erfassung neben der Erstellung des Protokolls nicht mehr notwendig.

Eine Besonderheit bilden auch hier die Transport-Vorgänge. Da das Material vollständig mit RFID-Tags (siehe S. 98) versehen ist, kann das Ereignis durch das Scannen des RFID-Tags festgestellt werden, wenn das Material am Einbauort angekommen ist. Entsprechend muss die Information nicht im Bautagebuch festgehalten werden. Alle Felder, die in einem Bautagebuch auszufüllen wären, sind nummeriert.

Tabelle 19: Erfassungsgrößen für alle Ereignisse des Beispielprozesses¹⁶

Nr.	Bezeichnung	Ereignis eingetreten	Dokument (Prüfung erfolgreich?)
E ₁₀	Kappen abgesteckt	1	
E ₂₀	Rohbau-Ist-Höhen aufgenommen	2	
E ₃₀	Betondeckung aufgenommen/überprüft	3	
E ₄₀	Ersatzgradienten geplant	4	
E ₅₀	Ersatzgradienten – Soll-Lage hergestellt	5	
E ₆₀	Untergrund kugelgestrahlt	6	
E ₇₀	Kappenbereiche gesäubert	7	
E ₈₀	Abreißfestigkeit Untergrund bestimmt → Vorgabewerte erreicht	8	Protokoll Abreißfestigkeit
E ₉₀	Rautiefe Untergrund bestimmt → Vorgabewerte erreicht	9	Protokoll Rautiefe

¹⁶ Ziffer nummeriert die hier vorgegebene Ordnungsnummer der Detailinformation.

Nr.	Bezeichnung	Ereignis eingetreten	Dokument (Prüfung erfolgreich?)
E ₄₀₀	Material für Grundierung transportiert	(1)	
E ₄₀₅	Grundierung hergestellt	10	
E ₄₀₆	mit Quarzsand abgestreut	11	
E ₄₀₇	Grundierung ausgehärtet	12	
E ₄₀₈	überschüssiger Quarzsand beseitigt	13	
E ₄₁₀	Material für Versiegelung transportiert	(2)	
E ₄₁₅	Versiegelung hergestellt	14	
E ₄₁₆	Versiegelung ausgehärtet	15	
E ₄₂₀	Abreißfestigkeit Versiegelung bestimmt → Vorgabewerte erreicht	16	Protokoll Abreißfestigkeit
E ₄₃₀	Bitumenschweißbahnen transportiert	(3)	
E ₄₃₅	Bitumenschweißbahn verklebt	17	
E ₄₄₀	Rasselprobe Bitumenschweißbahn durchführen → keine Hohlstellen	18	Protokoll Rasselprobe
E ₄₅₀	edelstahlkaschierte Schweißbahnen transportiert	19	
E ₄₅₅	edelstahlkaschierte Schweißbahn verklebt	20	
E ₄₆₀	Schuttlage transportiert	(4)	
E ₄₆₅	Schuttlage verklebt	21	
E ₆₀₀	Fertigungsbocke montiert	22	
E ₆₁₀	Bewehrung zu Fertigungsbock transportiert	23	
E ₆₂₀	Schrammbordteile auf Überbau transportiert	24	
E ₆₂₅	Schrammbord vormontiert und gesäubert	25	
E ₆₃₀	Schrammbord geölt	26	
E ₂₀₀	Schienen transportiert	(5)	
E ₂₀₅	Schienen montiert	27	
E ₂₁₀	Schienen verlegt	28	
E ₂₂₀	Unterwagen transportiert	(6)	
E ₂₂₅	Unterwagen aufgestellt	29	
E ₂₃₀	Unterwagen – Ballast transportiert	(7)	
E ₂₃₅	Unterwagen ballastiert	30	
E ₂₄₀	KSW-Ausleger transportiert	(8)	
E ₂₄₅	KSW-Ausleger vormontiert	31	
E ₂₅₀	Ausleger an Unterwagen montiert	32	
E ₂₆₀	Hängeeinheiten transportiert	(9)	
E ₂₆₅	Hängeeinheiten vormontiert	33	
E ₂₇₀	Hängeeinheiten an KWS montiert	34	
E ₇₀₀	KSW ausgerichtet	35	
E ₆₁₀	Bewehrung zum Fertigungsbock transportiert	36	
E ₆₁₅	Bewehrungskörbe vorgeflochten	37	
E ₇₁₀	Bewehrung eingehoben und positioniert	38	
E ₇₂₀	Bewehrung eingebaut	39	

Nr.	Bezeichnung	Ereignis eingetreten	Dokument (Prüfung erfolgreich?)
E ₇₃₀	Einbauteile montiert	40	
E ₇₄₀	Bewehrung abgenommen → Freigabe Bewehrung	41	Protokoll
E ₇₄₅	Schalungselemente transportiert	(10)	
E ₇₅₀	zugeschalt	42	
E ₇₆₀	Schrammbord montiert	43	
E ₈₀₀	Beton bestellt	44	
E ₈₁₀	Betonpumpe aufgebaut	45	
E ₈₂₀	Beton angeliefert	46	
E ₈₂₅	Beton geprüft → Freigabe Beton	47	Lieferschein Beton
E ₈₃₀	betoniert	48	
E ₈₃₅	Beton – Nachbehandlung abgeschlossen	49	
E ₈₄₀	Schrammbord entfernt und gereinigt	50	
E ₈₅₀	Schalung gelöst	51	
E ₈₆₀	ausgeschalt	52	
E ₉₀₀	Schienen demontiert	53	
E ₉₁₀	Schienen transportiert	(11)	
E ₉₂₀	Schienen verlegt	54	
E ₉₃₀	KSW umgesetzt	55	
E ₉₄₀	KSW gesäubert	56	

Legende

	Ereignisse, deren Erfassung über die Feststellung „eingetreten“ hinausgeht
	Transport-Vorgänge
Nr.	Felder, die in einem Bautagebuch auszufüllen sind

5.2 Ressourcen

In Tabelle 20 werden die Informationen zusammengefasst, welche bzgl. der Ressourcen erfasst werden müssen. Ergänzt wurde die Aufzählung durch eine Auflistung der Erfassungsmethoden, welche für den jeweiligen Erfassungsfakt geeignet sind, und eine weitere Auflistung der Erfassungsmethoden, die typischerweise genutzt werden.

Abschnitt 4.3 hat gezeigt, dass sowohl RFID-Tags als auch Barcodes erfolgreich eingesetzt werden können, um Ressourcen zu identifizieren. Der Einsatz von RFID-Tags ist zwar teurer, in Anbetracht der komplexen Informationen, welche hinterlegt und später abgefragt werden sollen, jedoch sinnvoll. Die Verwendung von Barcodes würde einen hohen Zusatzaufwand nach sich ziehen und weitaus weniger Flexibilität erlauben. Deshalb bauen die weiteren Betrachtungen auf dem Einsatz von RFID-Tags auf.

Tabelle 20: Zuordnung Erfassungsmethoden zu Informationsquellen für Ressourcen

Erfassungsfakt	Beschreibung	Mögliche Erfassungsmethode	Typische Quellen
Qualifikation, ggf. Qualifikationen ▪ Personalressourcen	Identifikation einer Qualifikation aus einer vordefinierten Menge	RFID , Barcode, Bautagebuch	Bautagebuch, Ausweis
Typ ▪ Geräteressourcen ▪ Materialressourcen			Bautagebuch, Lieferschein
Eigenschaften ▪ Geräteressourcen			Lieferschein
Menge ▪ Materialressourcen	Wertangabe gemäß vordefinierter Mengen- angabe	RFID , Barcode, Bautagebuch	Lieferschein
geplanter Einsatzbeginn/ Lieferzeitpunkt ▪ Personalressourcen ▪ Geräteressourcen ▪ Materialressourcen (Beton)	Datum, Uhrzeit	Information ist in Bauablaufplanung bereits hinterlegt	Verträge, Bauablauf- planung
geplantes Einsatzende ▪ Personalressourcen ▪ Geräteressourcen ▪ Materialressourcen (Mehr- wegmaterial)			
tatsächlicher Einsatzbeginn ▪ Personalressourcen ▪ Geräteressourcen	Datum, Uhrzeit	RFID , Barcode, Bautagebuch	Bautagebuch
tatsächliches Einsatzende ▪ Personalressourcen ▪ Geräteressourcen			

5.2.1 Personalressourcen

Tabelle 9 (S. 61) gibt eine Übersicht über die Qualifikation der Personalressourcen des Beispielprojektes. Auf einer typischen Baustelle werden die vorhandenen Personalressourcen in einem Bautagebuch festgehalten. Auf einigen Baustellen werden auch Baustellenausweise eingesetzt.

Da eine Reihe komplexer Informationen zu erfassen ist, wird der Einsatz eines RFID-Tags bspw. in einem Baustellenausweis vorgeschlagen, welcher automatisch beim Betreten der Baustelle ausgelesen wird. Solche Anwendungen werden u. a. von HELMUS [39] beschrieben.

Ein solcher Ausweis ist durch alle (bauunternehmeninterne und -externe) Personen, die auf der Baustelle arbeiten, zu tragen. Auf RFID-Tags im Baustellenausweis müssen die folgenden Informationen hinterlegt sein:

- Eindeutige Personal-ID
- Qualifikation gemäß Tabelle 9 (S. 61)
- Zusatzqualifikation gemäß Tabelle 9 (S. 61)
- Angabe, ob die Person ein bauunternehmeninterner oder -externer Mitarbeiter ist und für welches Unternehmen er arbeitet

Der tatsächliche Einsatzbeginn bzw. das tatsächliche Einsatzende werden

- bei Eintritt bzw.
- bei Austritt

gescannt und übermittelt.

Durch die Bauablaufplanung werden

- der geplante Einsatzbeginn und
- das geplante Einsatzende

vorgegeben und aktualisiert. Bei Änderungen, die nicht der Planung entspringen, müssen diese Informationen manuell aktualisiert werden.

5.2.2 Geräteressourcen

In Abschnitt 3.2.3 wurde beschrieben, welche Geräteressourcen in das Erfassungskonzept aufgenommen werden müssen. Das betrifft die baustelleneigenen Geräte – im Beispielprojekt: Betonpumpe, Hochbaukran, Prüfgerät Betondeckung und Teleskopstapler.

Auf dem RFID-Tag, der geschützt am Gerät anzubringen ist, sollten die folgenden Informationen hinterlegt werden:

- eindeutige Geräte-ID
- Typ gemäß Tabelle 10 (S. 62)
- Eigenschaften gemäß Tabelle 11 (S. 63)

Der tatsächliche Einsatzbeginn oder das tatsächliche Einsatzende werden

- bei Einsatzbeginn bzw.
- bei Einsatzende

gescannt und übermittelt.

Durch die Bauablaufplanung werden

- der geplante Einsatzbeginn und
- das geplante Einsatzende

vorgegeben und aktualisiert. Bei Änderungen, die nicht der Planung entspringen, müssen diese Informationen manuell aktualisiert werden.

Eine Betrachtung der allgemeinen Geräteverwaltung auf Baustellen ist nicht Gegenstand der Arbeit. Eine Verknüpfung des Erfassungssystems mit einer digitalen Geräteverwaltung würde das Baustellencontrolling sinnvoll ergänzen.

5.2.3 Materialressourcen

Tabelle 12 (S. 64) gibt einen Überblick über die Materialressourcen, welche zum Bau einer Brückenkappe benötigt werden.

Das Material sollte bereits im Herstellerwerk mit RFID-Tags versehen werden, damit es beim Eintreffen auf der Baustelle gescannt werden kann. Ein Gate, das die Materialien im Pulk registrieren kann (wie von HELMUS [38] beschrieben), ist erstrebenswert.

Folgende Angaben müssen, wie in Tabelle 12 (S. 64) angegeben, auf dem RFID-Tag hinterlegt sein:

- der Typ,
- die Angabe, ob es sich um Einweg- oder Mehrwegmaterial handelt, und
- die Menge.

Die Informationen werden bei Lieferung auf der Baustelle erfasst und somit ihre Verfügbarkeit registriert. Eine Verknüpfung mit digitalen Lieferscheinen ist wünschenswert.

Im Bautagebuch müssen durch den Bauleiter im Falle von Betonlieferungen zusätzlich

- Typ und
- Menge

notiert und ggf. aktuell gehalten werden.

Durch die Bauablaufplanung werden

- der geplanter Lieferzeitpunkt

sowie bei Mehrwegmaterial

- der geplante Austrittszeitpunkt

vorgegeben und aktualisiert. Bei Änderungen, die nicht der Planung entspringen, müssen diese Informationen manuell aktualisiert werden.

5.3 Minderung des Erfassungsaufwandes

Es wurde ein Erfassungskonzept entwickelt, bei dem sehr viele Informationen automatisiert durch das Auslesen von RFID-Tags übermittelt werden. Die verbliebenen Informationen, die nicht mit Hilfe von RFID erfasst werden, muss der Bauleiter in ein digitales Bautagebuch eintragen. Das betrifft die Angaben zum aktuellen Status der Vorgänge und Ereignisse sowie die geplanten Einsatzbeginn-, Liefer- und Einsatzendzeitpunkte der Ressourcen.

Der Einsatz eines Bautagebuches wird nur Akzeptanz finden, wenn die Aufgabe für den Bauleiter überschaubar bleibt und nicht mehr Zeit in Anspruch nimmt, als bisher das Schreiben des herkömmlichen Bautagebuches. Deshalb wurde zur Erhöhung der Akzeptanz nach Möglichkeiten gesucht, die Erfassungsaufgabe zu minimieren. Ein Ansatz ist die Einführung eines hierarchischen Erfassungskonzeptes.

Der Ansatz entstand in Anlehnung an ein hierarchisch aufgebautes Simulationskonzept, das im Rahmen des ForBAU-Projektes [30] entwickelt wurde. In Anlehnung an dieses Konzept soll die Erfassung so konzipiert werden, dass nur der Status der Vorgänge bzw. Ereignisse abgefragt wird, deren Ausführung zum Abfragezeitpunkt überhaupt möglich ist. Wenn ein Vorgang aufgrund zwingend einzuhaltender Reihenfolgebeziehungen gar nicht gestartet werden kann, dann wird dessen Status nicht abgefragt.

Abbildung 37 zeigt das hierarchische Erfassungskonzept. Grün markiert sind Prozesse bzw. Vorgänge, die zur Ausführung kommen können, da alle Constraints erfüllt sind. Gelb sind die Vorgänge markiert, die nicht ausgeführt werden können, da nicht alle Constraints erfüllt sind. Die rot und grau markierten Prozesse bzw. Vorgänge können aufgrund der Reihenfolgebeziehungen nicht abgearbeitet werden. Die Statusabfrage kann auf die grün und gelb markierten Vorgänge beschränkt werden.

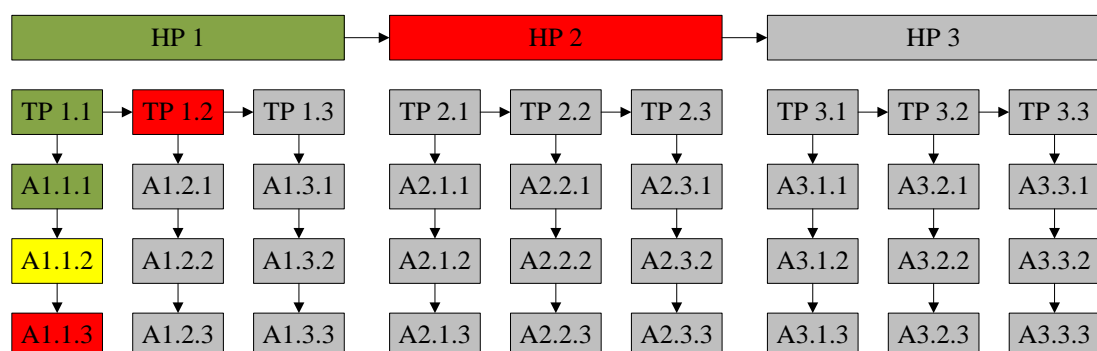


Abbildung 37: Hierarchisches Erfassungskonzept (in Anlehnung an [30])

Die Vorgänge, für die eine Status-Abfrage zum betrachteten Zeitpunkt nicht relevant ist, könnten dem Bauleiter als inaktiv angezeigt werden, um ein vorausschauendes Handeln und ein Hinterfragen der Vorgaben zu ermöglichen.

Eine weitere Vereinfachung sieht die Bestätigung in Reihen vor. An jedem Tag können mehrere Vorgänge zur Ausführung kommen, die durch eine feste Reihenfolgebeziehung ver-

knüpft sind. Es soll dem Bauleiter ermöglicht werden, durch Bestätigung des Eintretens des „letzten“ Ereignisses in der Reihe die gesamte Kette von Vorgängen und Ereignissen zu bestätigen. Wenn für das letzte Ereignis in einer Kette der Status „e = occurred“ eingegeben wird, dann wird automatisch auch den vorangegangenen Ereignissen dieser Status zugewiesen, es sein denn, er korrigiert anschließend noch einzelne Werte.

5.4 Gesamtkonzept

An dieser Stelle sollen die Inhalte des Konzeptes zusammengefasst und die praktische Anwendung beschrieben werden.

Das Konzept wurde entwickelt, um eine Grundlage für die bessere Integration von Simulationswerkzeugen in die Baupraxis zu schaffen. Aber auch losgelöst von einer zukünftigen Nutzung durch die Bauprozesssimulation kann das Konzept der Verbesserung des Termincontrollings dienen und die Bauleitung in der Ausführungsphase bei der Kontrolle und Steuerung des Bauablaufes unterstützen. Es wurde ausgearbeitet, um den objektiven Kenntnisstand über die realen Zustände eines im Bau befindlichen Projektes so genau zu erfassen, dass es möglich wird, täglich ein zutreffendes Abbild des Baufortschrittes und der Randbedingungen des Bauablaufes zu schaffen.

Mit Hilfe des täglichen Abbildes des Baufortschrittes sowie der Randbedingungen wird ein taggenaues Termincontrolling ermöglicht. Denn die am Bau Beteiligten können Terminverschiebungen am Tag ihrer Entstehung registrieren und darauf reagieren. Außerdem wird durch eine Automatisierung der Bau-Ist-Erfassung auch der Dokumentationsaufwand für die Bauleitung gering gehalten werden.

Die verschiedenen Praxisprojekte haben deutlich gezeigt, dass ein solches Konzept nur akzeptiert und umgesetzt wird, wenn der Bauleitung kein Zusatzaufwand entsteht und sie einen spürbaren Nutzen erkennt.

Das Konzept sieht vor, dass dem Bauleiter am Morgen eine Liste mit allen Vorgängen, die im folgenden Bauablauf ausgeführt werden müssen, zur Verfügung steht. Zusätzlich geht aus der Liste hervor, welche Ressourcen für den jeweiligen Vorgang eingeplant und gebunden sind. Somit kann der Bauleiter die Arbeitskräfte entsprechend einweisen bzw. kontrollieren.

Darüber hinaus wird die Ressourcenplanung und -steuerung erleichtert. So wird für Material- und Gerätere Ressourcen, welche in naher Zukunft gebraucht werden, aber noch nicht auf der Baustelle eingegangen sind, eine Hinweis-Meldung an die Bauleitung ausgegeben. Für die Planung der Personalressourcen bekommt der Bauleiter eine Übersicht, welche Qualifikationen in den folgenden Tagen benötigt werden. Mit deren Hilfe kann er die Arbeitskräfte des eigenen Bauunternehmens bzw. Subunternehmer gezielt steuern.

Am Abend muss die Bauleitung die Leistung des Tages erfassen. Die notwendigen Informationen werden gezielt vorgegeben und abgefragt. Die Bauleitung muss eine Reihe von Fragen abarbeiten, wobei die Mehrzahl der Fragen nur abzhaken ist. (Eine solche Liste ist in Abschnitt 6.1.1, Abbildung 42, Seite 111 abgebildet.) Mit Hilfe der Vorstrukturierung und der klaren Vorgaben werden die Zuverlssigkeit und Objektivitt der Bau-Ist-Erfassung gesteigert. Darber hinaus sorgt die Verwendung von Erfassungstechniken fr eine Automatisierung und Aufwandsverringerung. Im vorliegenden Konzept wird auf die Nutzung von RFID-Tags und eines digitalen Bautagebuches zurckgegriffen.

Die Verknpfung aus stringenten Vorgaben und der Nutzung von Erfassungstechniken macht die Datenerfassung weniger fehler- und manipulationsanfllig. Mit reduziertem Erfassungsaufwand knnen aussagekrftige sowie belastbare Daten gewonnen werden. Gegenber der aktuell gngigen Dokumentationspraxis wird die Aussagekraft der Bauablaufdokumentation gesteigert. Die Vorbereitung und Ausarbeitung der Erfassung ist aufwendiger, dafr bekommt die Bauleitung ein wesentlich umfassenderes und aussagefhigeres Bild des Baugeschehens und kann den Bauablauf gezielter steuern.

Die Nutzung eines digitalen Bautagebuches dient der Digitalisierung der Erfassungsdaten. Nach wie vor wird auf vielen Baustellen das Bautagebuch von Hand gefhrt, was die Auswertung der Daten erschwert. Durch die digitale Erfassung knnen die Daten auch digital bertragen und bspw. in einem Simulationsmodell ausgewertet werden. Das Konzept sieht vor, dass das digitale Bautagebuch das traditionelle ersetzen soll. Der berwiegende Teil der Informationen, die im traditionellen Bautagebuch erfasst werden, wird bereits durch das Erfassungskonzept abgedeckt. Die Angaben, welche noch nicht abgedeckt sind, mssen in das Erfassungskonzept und somit das digitale Bautagebuch aufgenommen werden.

Die gewonnenen Daten knnen selbstverstndlich auch fr die Bauablaufplanung, bspw. fr Abrechnungszwecke, genutzt werden.

Die Erfassung ist wie folgt vorgesehen: Vorgnge werden durch einen Eintrag in einem digitalen Bautagebuch als gestartet erfasst. Fr einen Teil der Vorgnge sind zustzliche Informationen, wie der Fertigstellungsgrad oder die Temperatur, zu erfassen. Der Abschluss eines Vorgangs wird durch den Eintritt des Ereignisses „Vorgang abgeschlossen“ beschrieben. Sofern der Abschluss nicht durch die Erstellung eines digitalen Dokumentes, wie einem Protokoll, eindeutig bestimmt ist, muss der Bauleiter den Eintritt des Ereignisses ebenfalls im Bautagebuch besttigen.

Personal-, Material- und Gerteressourcen werden mit Hilfe von RFID-Tags identifiziert, auf denen alle Informationen hinterlegt sind. Geplante Termine mssen der Bauablaufplanung entnommen und aktuell gehalten werden. Um ein in sich konsistentes Konzept zu entwickeln, sollen traditionelle Lieferscheine in Papierform durch digitale Lieferscheine ersetzt werden.

6 Verallgemeinerung der Ergebnisse

Dieses Kapitel beschreibt die Validierung des Konzeptes und dessen Übertragbarkeit auf andere Bauteile. Das Konzept wird auf ein anderes Bauteil übertragen und seine Anwendbarkeit nachgewiesen.

6.1 Umsetzung des Konzeptes

Als Validierungsobjekt wurden Stahlbetondecken ausgewählt. Für eine erste Übertragung wurde ein einfaches und häufig gebautes Objekt ausgewählt. Stahlbetondecken haben in der Herstellung eine Reihe den Brückenkappen ähnliche Prozesse. Zum Zeitpunkt der Forschungsarbeit bestand Zugang zu mehreren Hochbau-Baustellen. Diese wurden während der gesamten Bauzeit begleitet. Anhand der Stahlbetondecken wurde das Erfassungskonzept erprobt. Es konnten verschiedene Einflüsse des Baustellenalltages auf die Umsetzbarkeit des Konzeptes und den Bauablauf im Allgemeinen identifiziert werden.

6.1.1 Beispiel Ärztehaus

Das erste Projekt ist der Neubau eines Ärztehauses. Der Rohbau wurde im Sommer 2012 errichtet. Abbildung 38 zeigt eine Luftbildaufnahme des Gebäudes nach Abschluss der Rohbauphase.

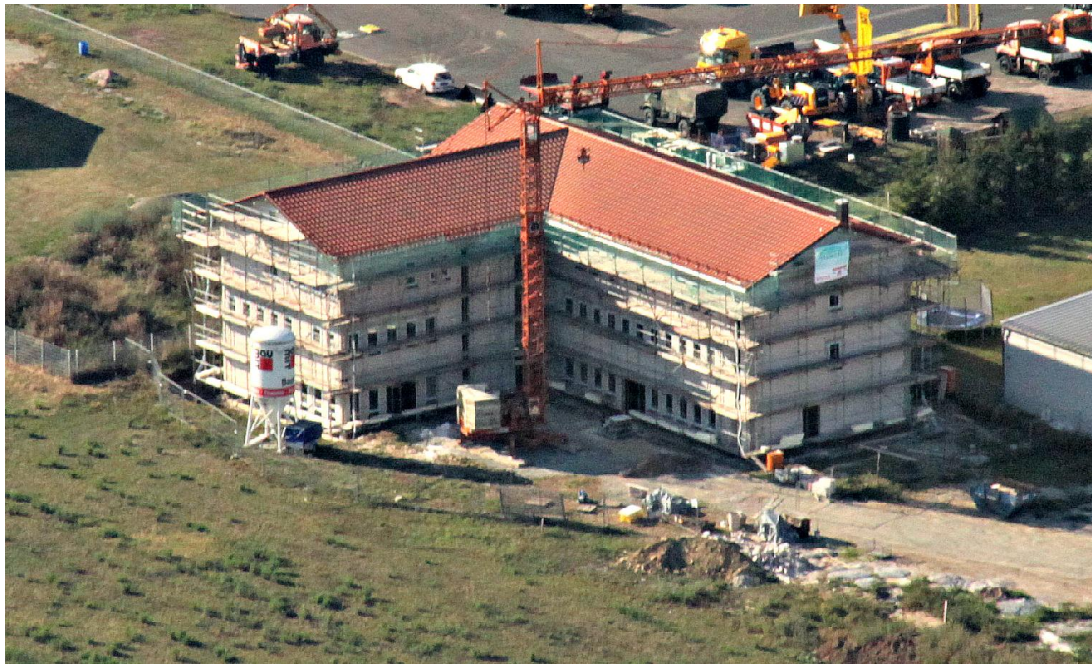


Abbildung 38: Ärztehaus im Bau

Das Ärztehaus besteht aus einem Hauptgebäude mit Seitenflügel. Das Haupthaus ist 29,40 m lang, der Seitenflügel ist 14,30 m lang. Beide Gebäudeteile sind 11,20 m breit (siehe Abbildung 39).

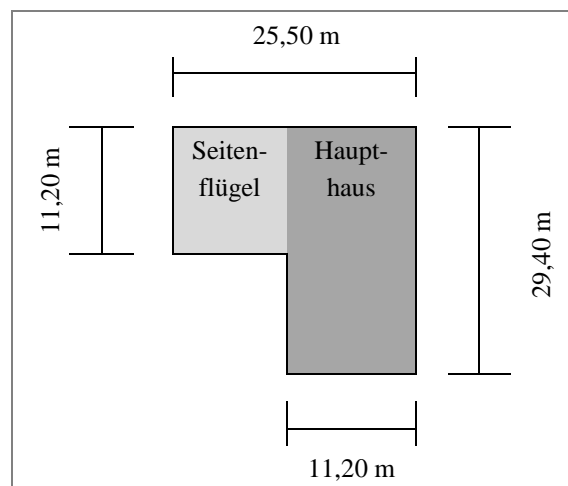


Abbildung 39: Abmessungen Ärztehaus

Das Gebäude ist dreigeschossig. Es hat drei Geschossdecken, eine über dem Erdgeschoss (EG), eine über dem 1. Obergeschoss (1. OG) und eine über dem 2. Obergeschoss (2. OG). Die Geschossdecken haben annähernd gleiche Grundrisse, aber unterschiedliche Dicken. Zudem hat die oberste Geschossdecke zwei Höhengsprünge. Alle Decken wurden in monolithischer Ortbetonbauweise hergestellt unter Verwendung eines universell einsetzbaren Schalungssystems. Auf die Verwendung von Halbfertigteilen wurde verzichtet.

Die Decken über Erdgeschoss und 1. Obergeschoss wurden in je einem Gang betoniert. Die Decke über dem 2. Obergeschoss wurde aufgrund der Höhengsprünge in zwei Abschnitten betoniert. Die Decken wurden in einem 14-tägigen Rhythmus gefertigt. Zwischen den Beto-

niervorgängen des ersten und des zweiten Abschnittes der Decke über dem 2. Obergeschoss lag eine Nacht.

Die folgenden Arbeitsschritte wurden zur Herstellung der Decken ausgeführt. Begonnen wurde mit der Lieferung des Schalungssystems. Dessen Aufbau erfolgte in mehreren Schritten. Zuerst wurden die Rüstungselemente und Schalungsträger an den Aufbauort transportiert und aufgestellt. Danach wurden die Schalungselemente positioniert und befestigt. Der Aufbau des Schalungssystems dauert zwei Tage, wobei das Stellen der Rüstung und der Schalungsträger am ersten Tag und die Positionierung der Schalungselemente am zweiten Tag erfolgten. In den darauf folgenden zwei Arbeitstagen wurde die Bewehrung verlegt und vom Statiker abgenommen. Transport und Positionierung aller Bauteile erfolgten mit Hilfe eines Kranes. Am Nachmittag des vierten Tages wurde betoniert. Der Beton wurde in einem Transportmischer geliefert, in Kübel gefüllt und vom Kran zum Einbauort transportiert. Es folgte die Nachbehandlung des Betons durch den Auftrag von Sprühfolie.

Das Schalungssystem war so ausgelegt, dass zwei Decken zeitgleich eingeschalt sein konnten. Deshalb wurde die erste Decke erst nach 14 Tagen ausgeschalt, als die zweite Decke bereits betoniert war.

Das Erfassungskonzept wurde schrittweise umgesetzt. Begonnen wurde mit der Modellbildung. Im ersten Schritt erfolgte die Prozessidentifikation. Anhand von Literatur und der Befragung des Bauleiters wurde der Bauablauf modelliert. Im Ergebnis wurde die Herstellung der Stahlbetondecken in Form einer EPK abgebildet (siehe Abbildung 40 und Abbildung 41).

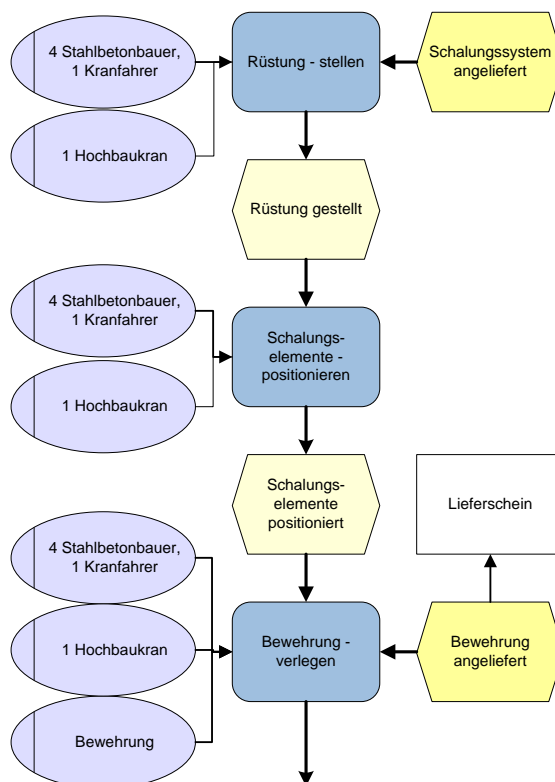


Abbildung 40: EPK Stahlbetondecke Ärztehaus, Teil 1

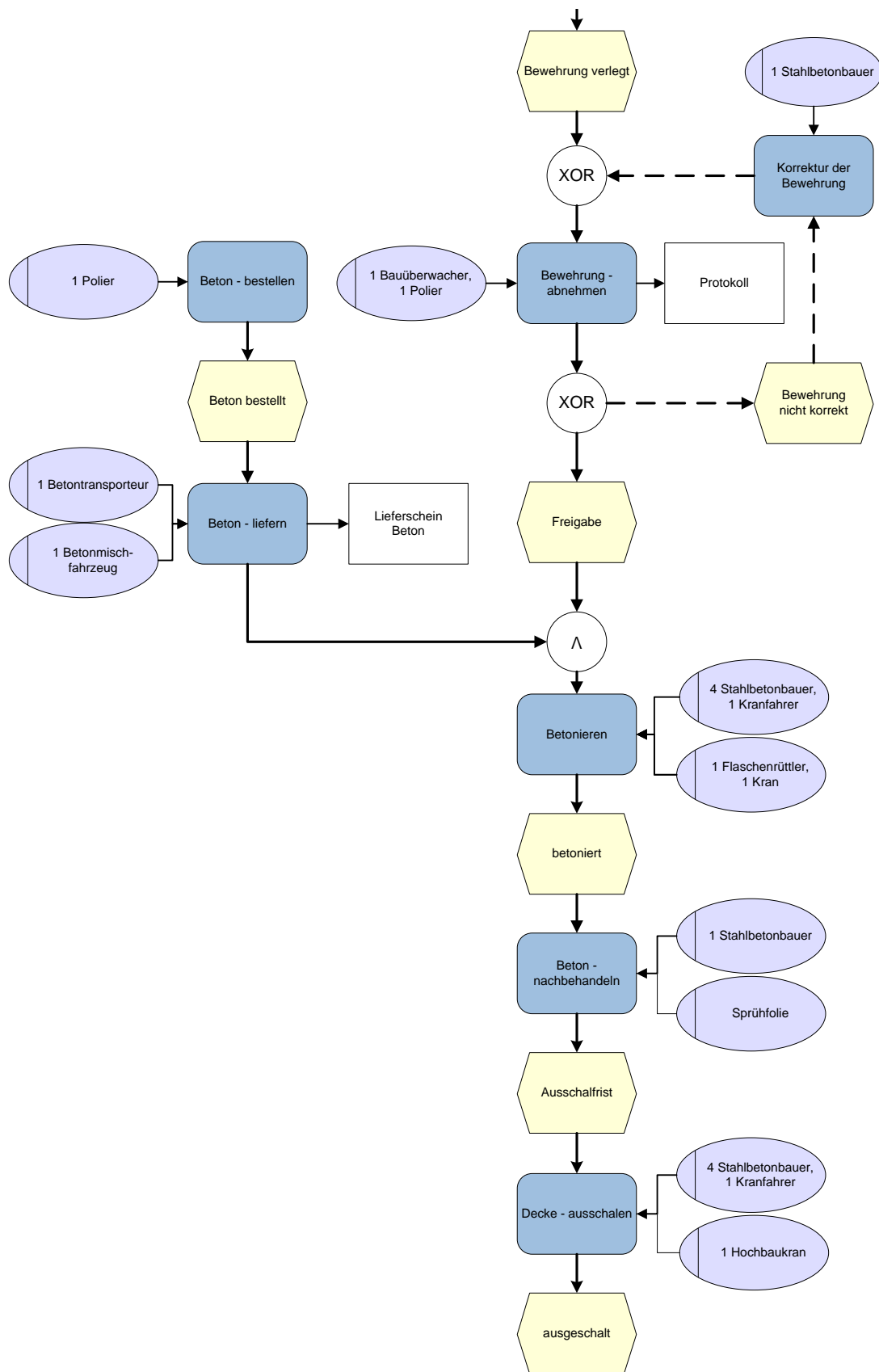


Abbildung 41: EPK Stahlbetondecke Ärztehaus, Teil 2

Aufbauend auf die EPK werden die Informationsstützstellen festgelegt, d. h. im ersten Schritt wird der Prozess in Teil- und Hauptprozesse gegliedert. Alle Vorgänge werden zum Hauptprozess „Herstellung Stahlbetondecke“ zusammengefasst. Die Teilprozesse sind Tabelle 21 zu entnehmen. Die Spalte „Dauer“ enthält z. T. zwei Angaben. Die erste Angabe gibt die Zeit an, die unter Einsatz von vier Stahlbetonbauern gebraucht wird. Die Angabe in Klammern gibt die maximale Dauer an. Das ist die Zeit, die notwendig wäre, wenn eine minimale Anzahl von Personalressourcen eingesetzt würde. Die Anzahl an Personalressourcen, die mindestens notwendig ist, um den Vorgang auszuführen, wurde in der Spalte Personalressourcen in Klammern gesetzt. Die Angabe wurde nur gemacht, wenn die Anzahl der Personalressourcen größer als eins war.

Tabelle 21: Teilprozesse und Ressourcenbedarf Ärztehaus

Teilprozess / Vorgang	Dauer (max. Dauer)	Materialressourcen	Personalressourcen (min. Anzahl)	Geräteressourcen
Rüstung stellen	8 h (16 h)	Schalungssystem	4 Stahlbetonbauer (2 Stahlbetonbauer)	Kran
Schalungselemente positionieren	8 h (16 h)	Schalungssystem	4 Stahlbetonbauer (2 Stahlbetonbauer), 1 Kranfahrer	Kran
Bewehrung verlegen	16 h (64 h)	Bewehrung	4 Stahlbetonbauer (1 Stahlbetonbauer)	Kran
Bewehrung abnehmen	0,5 h		1 Bauüberwacher, 1 Polier	
Beton bestellen	0,5 h		1 Polier	
Beton liefern			1 Betontransporteur	1 Betonmischfahrzeug
Betonieren	4 h (8 h)		4 Stahlbetonbauer (2 Stahlbetonbauer), 1 Kranfahrer	1 Kran, 1 Flaschenrüttler
Beton nachbehandeln	1 h		1 Stahlbetonbauer	
Decke ausschalen	8 h (16 h)		4 Stahlbetonbauer (2 Stahlbetonbauer)	

Nach der Gliederung der Prozesse folgt die Gliederung gemäß bautechnologischer Vorgaben. Diese war durch die geschossweise Herstellung der Decken vorgegeben. Schließlich werden die Prozesse auf eine Taggenaue Erfassung abgestimmt. Die Teilprozesse „Rüstung stellen“, „Schalungselemente positionieren“, „Bewehrung verlegen“ und „Decke ausschalen“ können mehr als einen Arbeitstag in Anspruch nehmen.

Gemäß der Festlegungen in Abschnitt 3.1.3 wird bestimmt, dass der tägliche Baufortschritt in Form des prozentualen Fertigstellungsgrades erfasst werden soll, da die Teilprozesse

durch eine Kapazitätsaufstockung beschleunigt werden können. Es folgt die Beschreibung der zu erfassenden Daten.

Um den Status der Vorgänge eindeutig beschreiben zu können, müssen die Zustände „progressing“ und „completed“ erfasst werden (siehe Abschnitt 3.2.1). Tabelle 22 zeigt die Daten, die im Beispiel „Ärztehaus“ zur Beschreibung der Vorgänge notwendig sind. Die Spalten „progressing“ und „completed“ sind zu dokumentieren, wenn der Zustand eingetreten ist. In der Spalte „Fertigstellungsgrad“ ist eine Prozentzahl anzugeben. Alle Informationen über den Status eines Vorganges sind im Bautagebuch festzuhalten.

Tabelle 22: Informationsstützstellen für Vorgänge – Bsp. Ärztehaus

Information	Erfassungsgrößen / Erfassungsart			
Vorgang	Status „a = progressing“	Fertigstellungsgrad [%]	Ereignis	Status „e = occurred“
Rüstung stellen	Bautagebuch	Bautagebuch	Rüstung gestellt	Bautagebuch
Schalungselemente positionieren	Bautagebuch	Bautagebuch	Schalungselemente positioniert	Bautagebuch
Bewehrung verlegen	Bautagebuch	Bautagebuch	Bewehrung verlegt	
Bewehrung abnehmen	Bautagebuch		Bewehrung abgenommen	
Beton bestellen	Bautagebuch		Beton bestellt	
Beton liefern	Bautagebuch		Beton geliefert	
Betonieren	Bautagebuch		Betoniert	
Beton nachbehandeln	Bautagebuch		Beton nachbehandelt	
Decke ausschalen	Bautagebuch	Bautagebuch	Decke ausgeschalt	

Gemäß der Darstellung in Abschnitt 3.2.2 werden hinsichtlich der **Personalressourcen** die folgenden Informationen erfasst:

- Qualifikation, ggf. Qualifikationen,
- tatsächlicher Einsatzbeginn,
- tatsächliches Einsatzende.

Zusätzlich sind dem Bauablaufplan der

- geplante Einsatzbeginn und das
- geplante Einsatzende

zu entnehmen. Für die Ausführung der Decke werden

- Stahlbetonbauer,
- ein Polier,
- ein Bauüberwacher,
- ein Betontransporteur und

- ein Kranfahrer

benötigt.

Bauüberwacher sind externe Personalressourcen, d.h. sie werden termingerecht und prozessgebunden angefordert. Der Betontransporteur ist fest an die Betonlieferung bzw. das Betonmischfahrzeug gebunden und muss nicht gesondert erfasst werden.

Die im Hinblick auf Personalressourcen zu erfassenden Informationen sowie die Erfassungsart wurden in Tabelle 23 zusammengefasst.

Tabelle 23: Informationsstützstellen für Personalressourcen – Bsp. Ärztehaus

	Information / Erfassungsart		
	Qualifikation, ggf. Qualifikationen	tatsächlicher/s Einsatz- beginn bzw. -ende	geplanter/s Einsatz- beginn bzw. -ende
Stahlbetonbauer	RFID		Bauablaufplan
Polier	RFID		Bauablaufplan
Bauüberwacher	Bautagebuch /RFID		Bauablaufplan
Kranfahrer	RFID		Bauablaufplan

Für **Geräteressourcen**, die nicht fest an eine Personal- oder Materialressource gebunden sind, sind deren

- Typ,
- Eigenschaften,
- tatsächlicher Einsatzbeginn und
- tatsächliches Einsatzende

zu erfassen (vgl. Abschnitt 3.2.3). Der

- geplante Einsatzbeginn und das
- geplante Einsatzende

sind dem Bauablaufplan zu entnehmen.

Bei dem Beispiel des Ärztehauses sind das Betonmischfahrzeug fest an die Materialressource Beton und der Flaschenrüttler fest an die Personalressourcen Stahlbetonbauer gebunden. Sie müssen demnach nicht gesondert erfasst werden (vgl. Abschnitt 3.2.3).

Für die verbleibende Gerätere Ressource „Hochbaukran“ sind die Eigenschaften maximale Hubkraft [kN], horizontale Reichweite [m], vertikale Reichweite [m] und Schwenkbereich [°] zu erfassen. Gemeinsam mit der Geräte-ID und dem Geräte-Typ (gemäß Tabelle 10) können diese Informationen auf einem RFID-Tag abgelegt und somit auch ausgelesen werden.

Durch Scannen des RFID-Tags bei der Anlieferung und dem Abtransport von der Baustelle können der tatsächliche Einsatzbeginn oder das tatsächliche Einsatzende erfasst werden.

Die im Hinblick auf Gerätere Ressourcen zu erfassenden Informationen sowie die Erfassungsart wurden in Tabelle 24 zusammengefasst.

Tabelle 24: Informationsstützstellen für Gerätere Ressource – Bsp. Ärztehaus

Gerätere Ressource	Information / Erfassungsart			
	Typ	Eigenschaften	tatsächlicher/s Einsatz- beginn bzw. -ende	geplanter/s Einsatzbeginn bzw. -ende
Hochbaukran			RFID	Bauablaufplan

Im vorliegenden Beispiel kommen die **Materialressourcen** Schalungssystem, Bewehrung und Beton zum Einsatz. Für das Schalungssystem und die Bewehrung sind bei deren Lieferung

- Typ,
- Menge,
- die Angabe, ob es sich um Einweg- oder Mehrwegmaterial handelt und
- bei Mehrwegmaterial der geplante Austrittszeitpunkt

zu erfassen.

Diese Informationen können auf einem RFID-Tag hinterlegt werden. Mit dessen Hilfe wird das Material bei der Lieferung erfasst und somit die Verfügbarkeit registriert.

Im Falle der Betonlieferungen sind

- Typ und
- Menge

im Bautagebuch zu notieren.

Der geplante Lieferzeitpunkt sowie bei Mehrwegmaterial der geplante Austrittszeitpunkt sind der Bauablaufplanung zu entnehmen.

Die im Falle einer Materiallieferung zu erfassenden Informationen wurden in Tabelle 25 abgebildet.

Tabelle 25: Informationsstützstellen für Materialressource – Bsp. Ärztehaus

Materialressource	Information / Erfassungsart				
	Typ	Menge	Ein-/Mehrwegmaterial	geplanter Lieferzeitpunkt	geplanter Austrittszeitpunkt
Schalungssystem			RFID	Bauablaufplan	Bauablaufplan
Bewehrung			RFID	Bauablaufplan	
Beton			Bautagebuch	Bauablaufplan	

Anhand dieser Vorgabe wurde das Erfassungskonzept umgesetzt. Es wurde das in Abbildung 42 dargestellte Erfassungsblatt zur Erfassung der Vorgänge entworfen und eingesetzt.

Dieses Blatt wurde täglich erstellt und die an diesem Tag zu dokumentierenden Informationen grau hervorgehoben. Die Liste wurde am Abend jedes Bautages in Zusammenarbeit mit dem Bauleiter ausgefüllt. Abbildung 42 zeigt das Erfassungsblatt am ersten Tag der Deckenherstellung. Die Vorgänge, die an diesem Tag gemäß Bauablaufplanung abgearbeitet sein sollten, wurden grau hinterlegt. Die folgenden Vorgänge werden auch auf dem Formular angezeigt für den Fall, dass einer dieser Vorgänge eher bearbeitet wird. In diesem einfachen Beispiel wurden alle Vorgänge auf das Erfassungsblatt gedruckt.

Projekt: Ärztehaus		Datum:		(1. Bautag)	
Bauabschnitt: Decke über EG		Uhrzeit:			
Rüstung stellen	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>	Fertigstellungsgrad ...	%	
Rüstung gestellt	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>			
Schalungselemente positionieren	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>	Fertigstellungsgrad ...	%	
Schalungselemente positioniert	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>			
Bewehrung verlegen	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>	Fertigstellungsgrad ...	%	
Bewehrung verlegt	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>			
Bewehrung abnehmen	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>			
Bewehrung abgenommen	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>			
Beton bestellen	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>			
Beton bestellt	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>			
Beton liefern	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>			
Beton geliefert	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>			
Betonieren	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>			
Betoniert	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>			
Beton nachbehandeln	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>			
Beton nachbehandelt	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>			
Decke ausschalen	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>	Fertigstellungsgrad ...	%	
Decke ausgeschalt	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>			

Abbildung 42: Erfassungsblatt Bau-Ist Vorgänge Ärztehaus¹⁷

Die Erfassungsbögen sollten später als digitales Bautagebuch bspw. mit Hilfe eines Smartphones ausgefüllt werden.

Eine Umsetzung des RFID-Ansatzes auf der Baustelle war nicht möglich, deshalb musste eine andere Erfassungsart genutzt werden. Einmal täglich wurden mit Hilfe eines Formulars alle Ressourcen aufgenommen, die an diesem Tag auf die Baustelle gelangt sind oder diese verlassen haben. Für eine bessere Übersichtlichkeit erhalten alle Ressourcen eine ID-

¹⁷ Täglich auszufüllen.

Nummer. An diese werden die unveränderlichen Informationen geknüpft, um nur noch die ID-Nummer erfassen zu müssen und somit den täglichen Erfassungsaufwand zu verringern. Für die Zuordnung der ID-Nummern wurden das in Abbildung 43 dargestellte Formular entworfen. In dieses Formular werden alle Ressourcen, deren Einsatz vorgesehen ist, eingetragen. Dieses Formular muss vor dem ersten Erfassungstag ausgefüllt werden. Wenn Änderungen eintreten, weil andere Ressourcen zum Einsatz kommen als ursprünglich geplant, dann ist das Formular fortzuführen. Während der Bauausführung hat sich gezeigt, dass die Personalressourcen öfter wechseln und deshalb häufig ergänzt werden müssen. Das ausgefüllte Erfassungsblatt ist dem täglichen Erfassungsbogen als Informationsblatt beigelegt worden, damit die ID-Nummer immer richtig belegt werden konnte.

Projekt: Ärztehaus						
Personalressourcen						
ID-Nummer						
Name, Vorname						
Qualifikationen	Stahlbetonbauer	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>
	Polier	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>
	Bauüberwacher	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>
	Kranfahrer	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>
Geräteressourcen						
ID-Nummer						
Typ						
Eigenschaften	max. Hubkraft [kN]					
	vertikale Reichweite [m]					
	horizontale Reichweite [m]					
	Schwenkbereich [°]					
Materialressourcen						
ID-Nummer						
Typ						
Mehrwegmaterial	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>

Abbildung 43: Erfassungsblatt ID-Zuordnung Ressourcen Ärztehaus¹⁸¹⁸ Einmal auszufüllen, ggf. fortzuführen.

Informationen, die der Bauablaufplanung zu entnehmen sind, also geplante Termine, bedürfen keiner Erfassung. Abbildung 44 zeigt das Erfassungsblatt für die Ressourcenerfassung.

Projekt: Ärztehaus		Datum: (1. Bautag)			
Bauabschnitt: Decke über EG		Uhrzeit:			
Personalressourcen (RP)					
ID-Nummer	RP 1	RP 2	RP 3	RP 4	RP 5
Einsatzbeginn	... : ... Uhr	... : ... Uhr	... : ... Uhr	... : ... Uhr	... : ... Uhr
Einsatzende	... : ... Uhr	... : ... Uhr	... : ... Uhr	... : ... Uhr	... : ... Uhr
Geräteressourcen (RG)					
ID-Nummer	RG 1				
Einsatzbeginn	... : ... Uhr				
Einsatzende	... : ... Uhr				
Materialressourcen					
ID-Nummer	RM 1	RM 2	RM 3	RM 4	RM 5
Menge					

Abbildung 44: Erfassungsblatt Ressourcen Ärztehaus¹⁹

Die Mengen sind in der jeweiligen Einheit bzw. Gebindegröße einzutragen. Die Betonlieferungen wurden auch in dieses Erfassungsblatt eingetragen.

In Bezug auf den Kran entstand die Frage, ob er am Tag der Lieferung oder Einsatzbereitschaft eingetragen werden muss. Es wurde festgelegt, dass alle Geräteressourcen erst an dem Tag eingetragen werden, an dem ihre Einsatzbereitschaft hergestellt wurde.

¹⁹ Täglich auszufüllen.

6.1.2 Beispiel Wohnhaus

Das zweite Projekt wurde im Herbst 2012 ausgeführt. Dabei handelt es sich um die Erweiterung eines Wohnhauses. Ein ca. 40 Jahre alter Bungalow wurde um einen Anbau und ein ausgebautes Dachgeschoss, das sich über den Anbau und den Bestandsbau erstreckt, erweitert. Abbildung 45 zeigt einen Gebäudeschnitt. In dieser Darstellung sind die Gebäudeteile, die neu errichtet wurden, rot dargestellt.

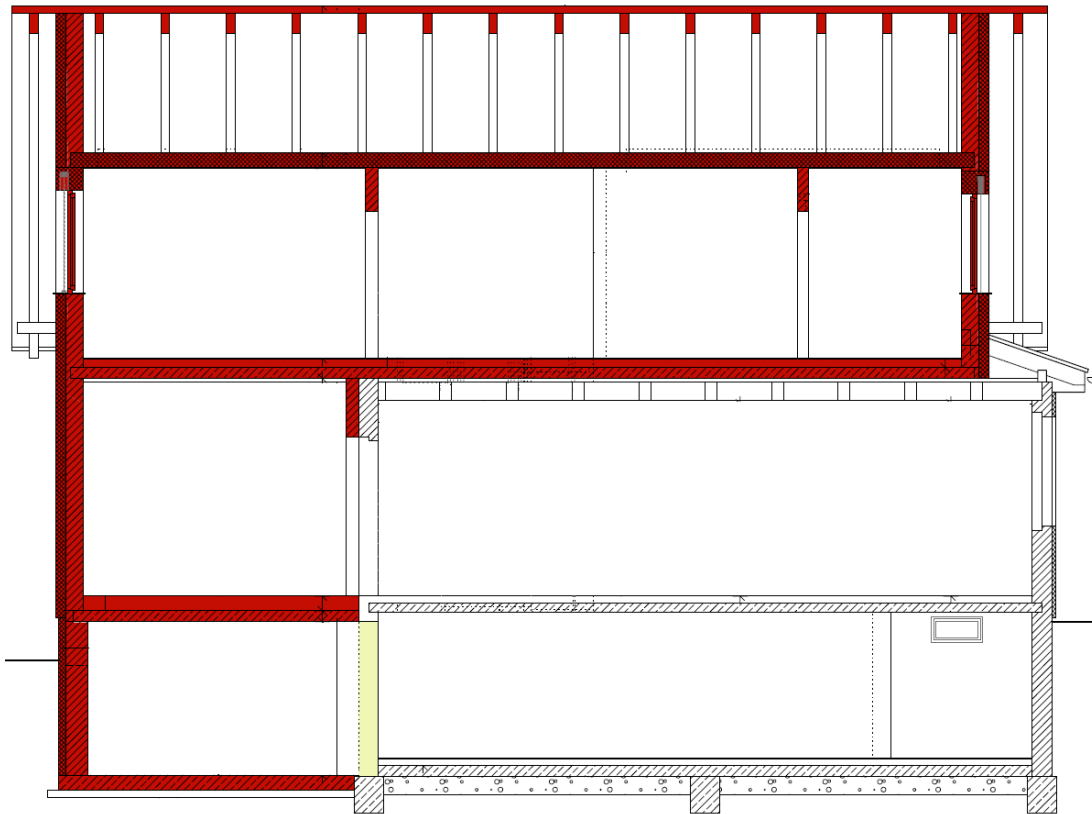


Abbildung 45: Planung Erweiterung Einfamilienhaus

Insgesamt wurden drei Stahlbetondecken betoniert. Im Anbau wurde eine Decke über dem Kellergeschoss und eine weitere über dem Erdgeschoss hergestellt. Beide Decken haben eine Abmessung von 4 m x 10,20 m. Außerdem wurde über dem EG des Bestandsgebäudes eine vom Anbau unabhängige Decke betoniert. Die Herstellung dieser Decke wurde von vielen Zwangspunkten und Terminverschiebungen, welche sich aus der Bestandssituation ergaben, geprägt. Aus diesem Grund wurde diese Decke aus den Betrachtungen ausgeschlossen.

Die Decken wurden im Gegensatz zu den Decken des Ärztehauses mit Hilfe von Halbfertigteilen gefertigt. Außerdem kam bei diesem Projekt kein Hochbaukran zum Einsatz. Das Material wurde mit den Heckkränen der Lieferfahrzeuge transportiert.

Folgende Arbeitsschritte wurden ausgeführt: Am ersten Tag wurden die Rüstung gestellt und Rüstungsträger darauf positioniert. Am zweiten Tag wurden die Halbfertigteile von einem LKW geliefert und eingehoben. Im Anschluss wurde die notwendige Restschalung ergänzt. Abschließend wurde die obere Bewehrungslage von Hand positioniert und eingebaut. Es

folgten die Bewehrungsabnahme durch den Statiker und das Betonieren. Die Decken sollten im Wochenrhythmus betoniert werden. Die Schalungselemente der ersten Decke wurden unabhängig von der Ausschalffrist erst abgebaut, als die zweite Decke eingeschalt wurde.

Der Bauablauf dieses Projektes war von Lieferproblemen und Wettereinflüssen geprägt. Das führte dazu, dass durch die Erfassung Unterschiede zwischen dem Bau-Soll und dem Bau-Ist aufgezeigt werden konnten. Die erste Bauablaufstörung entstand durch die verspätete Lieferung der Halbfertigteile für die erste Decke. Diese konnten erst einen Tag später geliefert werden als geplant, weil das Lieferwerk zum geplanten Termin ausgelastet war. Dadurch entstand bei der Herstellung der ersten Decke ein Verzug von einem Tag. Die zweite Decke konnte erst mit einer Woche Verzögerung fertiggestellt werden. In diesem Falle musste der Betoniervorgang verschoben werden, weil an dem Tag, an dem planmäßig betoniert werden sollte, keine Betonfahrzeuge verfügbar waren. In der Folge wurde das Betonieren vom Abend auf den nächsten Morgen verschoben. In der Nacht setzte Starkregen ein, der zwei Tage anhielt, was das Betonieren unmöglich machte. Auf den Starkregen folgte ein Winterereinbruch. Aufgrund der niedrigen Temperaturen konnte weitere drei Tage nicht betoniert werden.

Abbildung 46 und Abbildung 47 zeigen die EPK zur Herstellung der Decke im Wohnhaus.

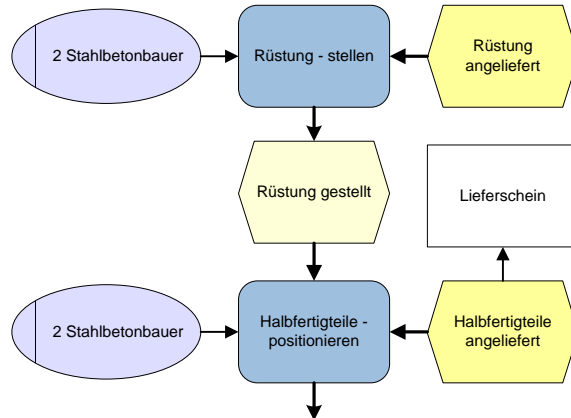


Abbildung 46: EPK Stahlbetondecke Wohnhaus, Teil 1

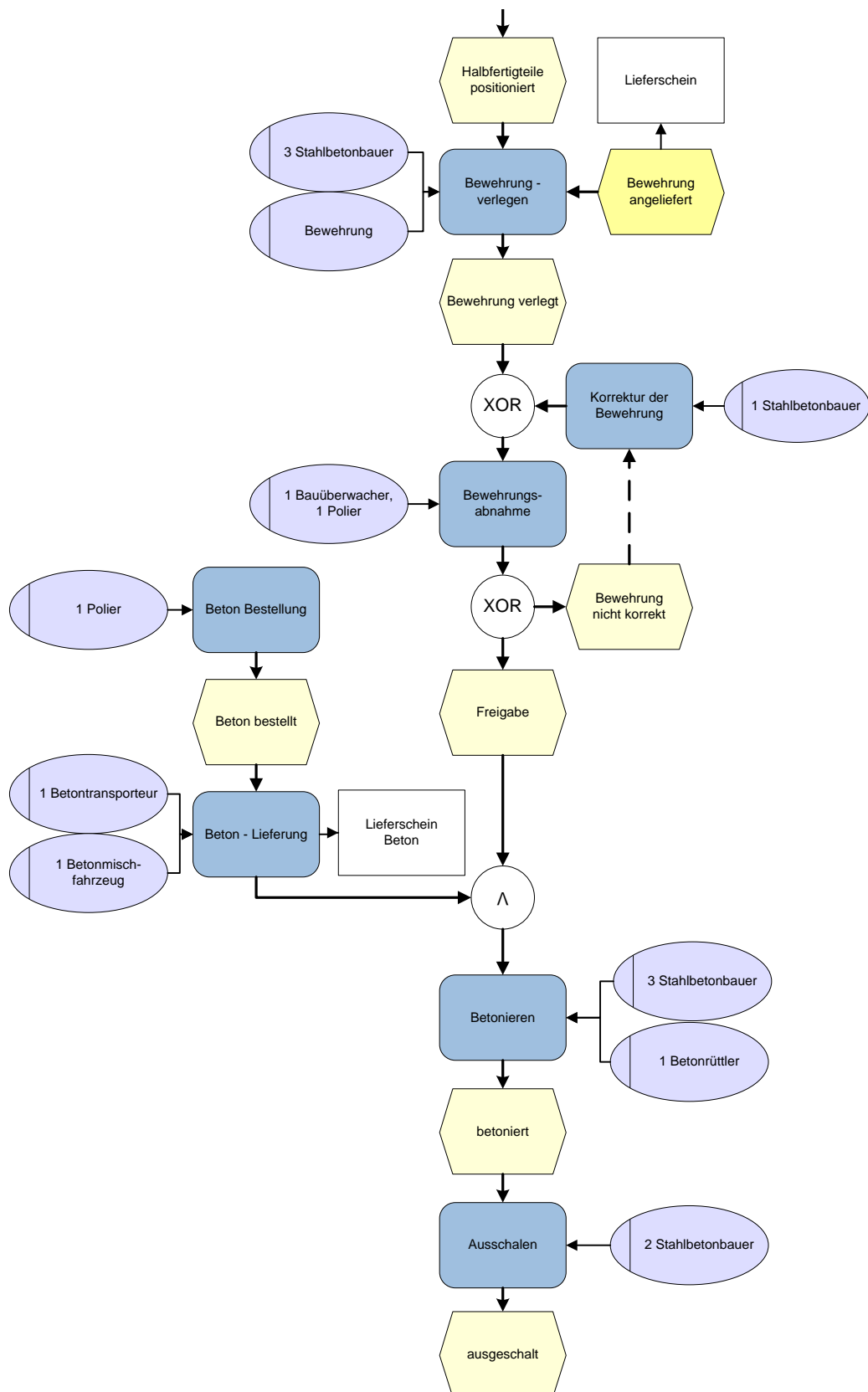


Abbildung 47: EPK Stahlbetondecke Wohnhaus, Teil 2

Teilprozess (TP)	Dauer	Material-ressourcen	Personalressourcen	Geräte-ressourcen
Rüstung stellen	4 h	Schalungssystem	2 Stahlbetonbauer	Heckkran
Halbfertigteile positionieren	1 h	Halbfertigteile	2 Stahlbetonbauer	
Bewehrung verlegen	2 h (6 h)	Bewehrung	3 Stahlbetonbauer (1 Stahlbetonbauer)	
Bewehrung abnehmen	0,5 h		1 Bauüberwacher, 1 Polier	
Beton bestellen	0,5 h		1 Polier	1 Betonmischfahrzeug 1 Flaschenrüttler
Beton liefern	0,5 h (1,5 h)	Beton	1 Betontransporteur	
Betonieren			3 Stahlbetonbauer (1 Stahlbetonbauer)	
Decke ausschalen	2 h		2 Stahlbetonbauer	

Die Ermittlung der Prozessstützstellen erfolgte in Anlehnung an das Projekt „Ärztehaus“. Da der Lösungsweg ähnlich ist, soll an dieser Stelle nur auf die Unterschiede eingegangen werden. Anschließend werden in Abbildung 48, Abbildung 49 und Abbildung 50 die Erfassungsbögen für das Projekt „Wohnhaus“ abgebildet.

Projekt: Wohnhaus		Datum:	(1. Bautag)
Bauabschnitt: Decke über EG		Uhrzeit:	
Rüstung stellen	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>	
Rüstung gestellt	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>	
Halbfertigteile positionieren	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>	
Halbfertigteile positioniert	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>	
Bewehrung verlegen	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>	
Bewehrung verlegt	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>	
Bewehrung abnehmen	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>	
Bewehrung abgenommen	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>	
Beton bestellen	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>	
Beton bestellt	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>	
Beton liefern	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>	
Beton geliefert	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>	
Betonieren	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>	
Betoniert	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>	
Decke ausschalen	Vorgang begonnen?	Ja <input type="checkbox"/>	
Decke ausgeschalt	Ereignis eingetreten?	Ja <input type="checkbox"/>	

Abbildung 48: Erfassungsblatt Bau-Ist Vorgänge Wohnhaus²⁰

²⁰ Täglich auszufüllen.

Die Vorgänge zur Herstellung der Decken im Wohnhaus sind im Wesentlichen die gleichen wie beim Ärztehaus. Anstelle der Schalungselemente mussten jedoch Halbfertigteile positioniert werden. Für den Bauablauf war dieser Unterschied wichtig, da die Halbfertigteile „in time“ geliefert wurden und es – wie bereits erwähnt – zu Lieferschwierigkeiten kam. Aufgrund der jahreszeitlichen Gegebenheiten wurden die Decken des Wohnhauses nicht nachbehandelt.

Alle Vorgänge sind im Falle des Wohnhauses auch bei minimaler Personalstärke innerhalb eines Arbeitstages abschließbar. Insofern ist die Erfassung des prozentualen Fertigstellungsgrades nicht notwendig. In der Bauablaufplanung kann davon ausgegangen werden, dass ein Prozess, der am ersten Tag begonnen, aber nicht abgeschlossen werden konnte, am Folgetag abgeschlossen werden kann.

Projekt: Wohnhaus						
Personalressourcen						
ID-Nummer						
Name, Vorname						
Qualifikationen	Stahlbetonbauer	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>
	Polier	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>
	Bauüberwacher	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>
Materialressourcen						
ID-Nummer						
Typ						
Mehrwegmaterial	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>

Abbildung 49: Erfassungsblatt ID-Zuordnung Ressourcen Wohnhaus²¹

Projekt: Wohnhaus		Datum:		(1. Bautag)	
Bauabschnitt: Decke über EG		Uhrzeit:			
Personalressourcen (RP)					
ID-Nummer	RP 1	RP 2	RP 3	RP 4	RP 5
Einsatzbeginn	... : ... Uhr	... : ... Uhr	... : ... Uhr	... : ... Uhr	... : ... Uhr
Einsatzende	... : ... Uhr	... : ... Uhr	... : ... Uhr	... : ... Uhr	... : ... Uhr
Geräteressourcen (RG)					
ID-Nummer	RG 1				
Einsatzbeginn	... : ... Uhr				
Einsatzende	... : ... Uhr				
Materialressourcen					
ID-Nummer	RM 1	RM 2	RM 3	RM 4	RM 5
Menge					

Abbildung 50: Erfassungsblatt Ressourcen Wohnhaus²²

²¹ Einmal auszufüllen, ggf. fortzuführen.

Die Baustelle „Wohnhaus“ konnte während der Arbeitszeiten nahezu lückenlos beobachtet werden. Insofern konnte eine Erfassung der Ressourcen mit Hilfe von RFID besser nachvollzogen werden, weil die Erfassung neuer Ressourcen immer zum tatsächlichen Lieferzeitpunkt erfolgte.

6.2 Erkenntnisse

Obwohl die Projekte relativ klein und die Bauteile sehr abgegrenzt waren, konnten im Laufe der Konzeptumsetzung eine Reihe wertvoller Erfahrungen sowohl im Hinblick auf die Erfassung als auch Bauablaufplanung gemacht werden. Die Betrachtung von zwei Baumaßnahmen, die sich in Umfang und Auftragsvolumen deutlich unterschieden, war sehr aufschlussreich.

In beiden Fällen wurde der Wunsch nach der Bau-Ist-Erfassung vom Bauherrn an die Bauunternehmen herangetragen. Die verstärkte Überwachung kam also nicht aus der Controllingabteilung der Baufirmen. Aufgrund dieser Konstellation bestanden anfangs große Ressentiments seitens der Baufirmen. In beiden Fällen hat es der klaren Stellungnahme des Bauherrn bedurft, ehe die Baufirmen eingewilligt haben. Im Laufe der Durchführung ist aber ein Vertrauensverhältnis entstanden, so dass die Erfassung schließlich unterstützt wurde. Wenn jedoch Probleme im Bauablauf auftraten, wurde auch die Bereitschaft, Informationen bereitzustellen, deutlich geringer. Ähnliche Erfahrungen wurden auch bei den in Abschnitt 2.2 angesprochenen Brückenbaustellen gemacht. Auf allen Baustellen, auch auf den Brückenbaustellen, war deutlich, dass selektiv dokumentiert wird. Diese Dokumentationspraxis dient im Falle von Versäumnissen dem Eigenschutz der Baufirmen und des Bauleiters bzw. Poliers.

Bei beiden Projekten oblag die Bauleitung vor Ort einem Polier. Der Bauleiter wurde durch die Baufirmen als übergeordnete Kontrollinstanz für mehrere Baustellen eingesetzt. Sein Aufgabenbereich war weniger die direkte Bauablaufplanung als vielmehr die Ressourcenkoordination zwischen den Baustellen und die Subunternehmerkoordination.

Detaillierte Bauablaufpläne gab es weder beim Ärztehaus noch beim Wohnhaus. Auf beiden Baustellen wurden jedoch kompetente Poliere eingesetzt. Sie waren für den Erfolg der Bauarbeiten ausschlaggebend. Sie haben den Bauablauf überblickt, vorausschauend geplant und Details hinterfragt. Die Ablaufplanung wurde jedoch weder schriftlich noch digital fixiert.

Lücken oder Fehler in der Ausführungsplanung wurden von den Polieren erkannt und deren Lösung rechtzeitig beim Architekten eingefordert.

Bei beiden Projekten gab es einen Polier, der das Projekt in der Anfangsphase betreut und angeschoben hat. Nachdem die Anfangsschwierigkeiten überwunden waren, wurden beide

²² Täglich auszufüllen.

Poliere auf andere Baustellen umgesetzt. Dort haben sie wiederum nur den Baubeginn betreut. Die Restarbeiten wurden von weniger souveränen Polieren betreut. Die Baufirmen sind sich der unterschiedlichen Qualitäten ihrer Poliere bewusst. Einige Poliere sind auf die Betreuung der Anfangsphasen, in denen viele Fragen zu klären sind, spezialisiert. Es dauerte mehrere Tage, ehe die neuen Poliere den vollständigen Überblick hatten, bei Detailfragen kam es zu Wissensverlusten.

Diese Praxis zeigt, dass, wie in der Einleitung angesprochen, die Koordinierung des Bauablaufs stark von der Erfahrung und Kompetenz der Bauleitung abhängt. Eine Bauablaufsimulation könnte sowohl die Qualität der Bauleiter bzw. Poliere angleichen und sie unabhängiger von Erfahrungswerten agieren lassen, als auch den Wissensverlust bei einem Wechsel der Bauleitung verringern.

Unbeeinflusst von der hier beschriebenen Bau-Ist-Erfassung wurde auf den Baustellen ein Bautagebuch geführt. Um einen Eindruck von der tatsächlichen Dokumentationspraxis zu erhalten, wurden die Poliere erst nach der Fertigstellung der jeweils ersten Decke, vor der Herstellung der zweiten Decke um ihre Bautagebücher gebeten. Von da an wurden die Bautagebücher jeden Tag eingesehen.

Wie erwartet wurde das Bautagebuch auf der Baustelle des Ärztehauses wesentlich zuverlässiger geführt und enthielt deutlich mehr Angaben; es wurde jeden Abend ausgefüllt. Das Bautagebuch auf der Baustelle des Wohnhauses wurde hingegen sehr unregelmäßig geführt und enthielt nur grobe Angaben zu Baufortschritt und Wetterdaten. Die Auswertung der Tagebücher ergab, dass die Poliere mit sehr unterschiedlicher Detailtiefe dokumentieren. Die Einsichtnahme in die Bautagebücher hat zu einer deutlichen Disziplinierung geführt. Nachdem die Bautagebücher täglich eingesehen wurden, haben sich die Lesbarkeit, der Informationsgehalt und die Regelmäßigkeit, mit der das Tagebuch geführt wurde, deutlich gesteigert.

Ein inhaltlicher Vergleich der Bautagebücher mit den Erfassungsbögen ergab, dass eine ganze Reihe von Informationen, die mit Hilfe des Erfassungsbogens abgefragt wurden, auch im Bautagebuch niedergeschrieben wird. Allerdings sind die Angaben im Bautagebuch im Hinblick auf die Erfassung der Vorgänge meist nicht ausreichend detailliert. Viele Vorgänge werden nicht erwähnt. Die Angaben, die zu den Ressourcen gemacht werden, sind überwiegend unvollständig. Ein Problem ist die schwankende Dokumentationsqualität. Selbst ein und derselbe Bauleiter variiert die Angaben.

Wie schon bei den Brückenbaustellen wurde auch am Beispiel der Stahlbetondecken der Versuch unternommen, den tatsächlichen Bauablauf ex post anhand der Bautagebücher nachzuvollziehen. Dieser Versuch erfolgte nach Abschluss der Bauarbeiten. Insofern wurden die Verzögerungen, die durch ein verspätetes Ausfüllen der Bautagebücher entstanden wären, ausgeblendet. Trotzdem kam es zu erheblichen Varianzen. Die Ausführung der Vorgänge konnte nicht genau einem Tag zugeordnet werden. Mitunter wurde ein Vorgang aufgrund der

Angaben im Bautagebuch zu spät als abgeschlossen registriert. Der Beginn von Vorgängen war in den meisten Fällen nicht nachvollziehbar. Viele Teilprozesse wurden gar nicht erfasst, so musste aufgrund der mangelnden Detailtiefe vom Hauptprozess auf die Ausführung der Teilprozesse rückgeschlossen werden. Im Ergebnis lief der nachvollzogene Bauablauf zu langsam ab. Die Dauer der einzelnen Teilprozesse stimmte nicht mit der Realität überein.

Noch schwieriger war es, den täglichen Ressourcenbestand anhand der Einträge im Bautagebuch zu bestimmen. Am Beispiel „Ärztelhaus“ konnten die Personalressourcen relativ gut nachvollzogen werden, da das Personal wenig gewechselt hat. Am Wohnhaus konnte gar nicht nachvollzogen werden, welche Arbeitskräfte vor Ort waren. Im Falle der Material- und Geräteressourcen konnte nur bestimmt werden, dass Materialien bzw. Geräte eines bestimmten Typs an dem betrachteten Tag eingetroffen sein müssen. Angaben zur Materialmenge konnten nur anhand der Lieferscheine gewonnen werden. Die Geräteeigenschaften wurden nicht dokumentiert. Sie konnten anhand der Gerätebezeichnung nachrecherchiert werden.

Da bei beiden Projekten keine detaillierten Bauablaufpläne vorhanden waren, konnten geplante Termine nicht abgefragt werden.

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass die Angaben in den Bautagebüchern nicht ausreichen, um eine treffsichere Bau-Ist-Bestimmung zu ermöglichen. Im Umkehrschluss waren aber alle Angaben, die im Bautagebuch täglich abgefragt werden, auch in den Erfassungsbögen enthalten. Zusätzlich müssen Wetterdaten erfasst werden. Nicht alltägliche Ereignisse, wie bspw. Arbeitsunfälle, sind ebenfalls zu ergänzen. Die Erfassungsbögen können nach geringen Anpassungen das Bautagebuch ersetzen. Die Aussagekraft des Bautagebuches wird erheblich gesteigert und durch die strikten Vorgaben vereinheitlicht.

6.2.1 Bau-Ist-Erfassung

Trotz des Bemühens, den Bauablauf möglichst treffsicher vor auszuplanen, mussten die EPK und damit auch die Erfassungsbögen mehrfach angepasst werden, da Vorgänge bzw. Ressourcen nach den zunächst ausgearbeiteten Vorgaben nicht eindeutig erfassbar waren. Anpassungen der Detaillierung an die Realität waren notwendig. Es wurde deutlich, wie bedeutend die Prozessidentifikation am Anfang der Modellbildung ist. Die Erfahrung zeigt, je besser die Bau-Ist-Erfassung vorbereitet ist, desto reibungsloser kann sie umgesetzt werden. Eine detaillierte Kenntnis der Bauabläufe ist notwendig. Der Lerneffekt konnte am Ärztelhaus gut beobachtet werden. Die Herstellung der zweiten Decke wurde aufgrund der Erfahrungen aus der Erfassung der ersten Decke sehr viel treffsicherer erfasst. Auch zwischen den Projekten konnte von einem Lerneffekt profitiert werden. Erkenntnisse aus dem Projekt „Ärztelhaus“ konnten sehr gut auf das Projekt „Wohnhaus“ übertragen werden. Bei dem Projekt „Wohnhaus“ war die Planung der Erfassung bedeutend einfacher als bei dem Projekt „Ärz-

tehaus“, da der Bauablauf vom Projekt „Ärztehaus“ übernommen werden konnte und nur noch baustellenspezifische Details, wie der Ressourceneinsatz, angepasst werden mussten.

Diese Lerneffekte sollten nutzbar gemacht werden. Da Detailkenntnisse über Bauabläufe sowohl für die Bauablaufplanung als auch für das in dieser Arbeit dargestellte Erfassungskonzept eine wertvolle Wissensbasis sind, sollte der Aufbau eines Bauteilkataloges angestrebt werden. Für Bauteile aus Stahlbeton wurde im Rahmen der Arbeit bereits ein Grundstein gelegt. Mit jeder Baumaßnahme, welche mit dem vorgelegten Konzept erfasst wird, kann diese Wissensbasis erweitert werden, was die Umsetzung zukünftiger Projekte vereinfacht.

Die in Umfang und Aufwand unterschiedlichen Projekte haben wichtige Anforderungen verdeutlicht, die an einen Bauteilkatalog zu stellen sind. Die Vorgänge, aber vielmehr noch die Ressourcen, die zur Herstellung eines Bauteils ausgeführt bzw. benötigt werden, sind ganz entscheidend von der Bauteilgröße, den örtlichen Gegebenheiten und vor allem den eingesetzten Ressourcen abhängig. So macht bspw. die Auswahl der Materialressourcen häufig den Einsatz bestimmter Geräte- und Personalressourcen notwendig. Deshalb ist es sehr wichtig, auch Informationen zu Einsatzvoraussetzungen und -grenzen von Ressourcen in einem Bauteilkatalog abzubilden.

Die Ressourcenerfassung wurde am Ärztehaus immer erst am Abend vorgenommen, im Gegenansatz zum Wohnhaus, wo die Ressourcen beim Eintreffen auf der Baustelle erfasst wurden. Auf die Bauablaufplanung hatte diese Praxis nur sehr geringe Auswirkungen. Lieferprobleme konnten etwas eher erkannt werden, besonders bei Material, das „in time“ geliefert wird. Es konnte somit früher auf Lieferschwierigkeiten reagiert werden. Bei „in time“-Lieferung reagiert die Bauleitung ohnehin sofort, wenn sich die Lieferung verzögert. Auf die Einsatzplanung der Personal- und Gerätesressourcen hatte die spätere Erfassung keine Auswirkungen, da die Feststellung des tatsächlichen Einsatzbeginns bzw. Einsatzendes eher dem Abgleich mit dem geplanten Einsatzbeginn bzw. Einsatzende dienen. Die Konzeptumsetzung hat gezeigt, dass, wenn die Nutzung von RFID nicht möglich ist, die Erfassung der Ressourcen zu Lasten einer Automatisierung auch mit Hilfe eines digitalen Bautagebuches erfolgen kann.

6.2.2 Bauablaufplanung

Der Bau-Ist-Erfassung liegt eine Bauablaufplanung zugrunde. Diese musste ebenfalls angepasst werden, z. T. aufgrund von baufirmenspezifischen Vorgaben, welche nicht verallgemeinerbar sind, aber für eine zutreffende Abbildung des betroffenen Projektes notwendig waren.

Baufirmen konzentrieren sich meist auf ein bestimmtes Marktsegment. Das wird bspw. durch die Auftragsgröße charakterisiert. Das Projekt „Ärztehaus“ war aufgrund des Auf-

tragsvolumens auch für Firmen interessant, welche überregional agieren. Der Rohbau wurde von einem Bauunternehmen ausgeführt, welches seinen Sitz 250 km vom Ärztehaus entfernt hat und dessen Mitarbeiter aus der Region des Firmensitzes stammen. Das Unternehmen ist deshalb darauf eingerichtet, seine Mitarbeiter in Containern auf dem Baugelände unterzubringen. Der Trupp wird bundesweit eingesetzt. Seine Zusammensetzung ist relativ konstant. Das Bauunternehmen motiviert seine Mitarbeiter durch eine wöchentliche Soll-Vorgabe. Wenn diese am Donnerstagabend erreicht ist, dann dürfen die Bauarbeiter am Donnerstagabend nach Hause fahren. Für die Bauablaufplanung bedeutet ein solches Vorgehen, dass die tägliche Arbeitszeit weit über die acht Stunden hinausgeht und das Wochenende meist drei Tage hat. Die veränderten Arbeitszeiten mussten in der Bauablaufplanung berücksichtigt werden.

Das Wohnhaus wurde hingegen von einem Bauunternehmen errichtet, welches sich auf den Bau von Einfamilienhäusern im regionalen Umfeld spezialisiert hat. Auch diese Spezialisierung wirkt sich auf die Bauablaufplanung aus. Während das Projekt „Ärztehaus“ einen sehr konstanten Personalbestand aufwies, nutzt das Bauunternehmen, welches das Wohnhaus errichtet hat, die räumliche Nähe, um die Bauarbeiter je nach Notwendigkeit kurzfristig zwischen ihren Baustellen umzusetzen. So wurde der Personalbestand vielfach geändert. In der Folge mussten häufig neue Personalressourcen mit einer ID-Nummer versehen und in die Planung aufgenommen werden. In der Bauablaufplanung für ein solches Projekt kann also nur schwer vorausgesagt werden, welche Ressourcen zur Verfügung stehen. Bei Bauunternehmen dieser Art wäre die Abbildung des Zusammenspiels der einzelnen Baustellen für eine optimale Ressourcenplanung von Interesse. Diese könnte bspw. mit Hilfe einer Bauprozesssimulation erfolgen.

Das regional agierende Bauunternehmen ist auf Rohbauarbeiten spezialisiert. Für Tiefbau- und Abrissarbeiten hatte die Baufirma Subunternehmer gebunden. Diese Firmen waren kleine, ländlich geprägte Betriebe. Koordinierung und Termintreue der Firmen waren kritische Punkte in der Bauablaufplanung. Da die Gewinnmargen in diesem Marktsegment nicht hoch sind, nehmen diese Firmen viele Aufträge parallel an. Kleine Bauprojekte bieten jedoch nur wenig Planungssicherheit hinsichtlich der Ausführungszeiträume. Deshalb werden sowohl Personal- als auch Geräteressourcen häufig nach dem Feuerwehrprinzip ein- und umgesetzt. In der Folge entstehen Zeiten, in denen die Baustelle ruht, weil Ressourcen nicht zur Verfügung stehen.

Die Planung der Bau-Ist-Erfassung hängt ferner von der Qualität der Projektplanung ab. Fehler oder Änderungen in der Planung führen zu Korrekturprozessen, die nachträglich in die Bauablaufplanung und folglich auch in die Erfassungsbögen aufgenommen werden müssen.

Besonders schwerwiegende Auswirkungen auf den Bauablauf hatte das Wetter. Wie bereits beschrieben, kam es bei dem Projekt „Wohnhaus“ zu Terminverschiebungen und schließlich

sogar zu einem vollständigen Stillstand der Bauarbeiten aufgrund des Wetters. Auch der Bauablauf des Ärztehauses wurde durch Wettereinflüsse gestört. Die Erfahrung zeigt, dass eine Simulation (wie in Abschnitt 2.3.5 bereits angesprochen) zwingend Wetterprognosen berücksichtigen sollte. Die langfristig vorausschauende Abbildung der Wettertendenzen ist wichtig, um festzustellen, ob Prozesse nicht nur begonnen, sondern auch abgeschlossen werden können.

Das Projekt „Wohnhaus“ hat gezeigt, dass es auch Einflüsse auf den Bauablauf gibt, welche nicht abbildbar sind. Der Umbau wurde von einer Klage gegen das Bauvorhaben begleitet. Obwohl der Klage eine Grundlage fehlte und sie schließlich vom Gericht abgewiesen wurde, hat sie doch zu Zeitverzögerungen geführt.

6.3 Fazit

Die Erfassung der Vorgänge und Ressourcen mit Hilfe des Konzeptes hat gut funktioniert. Am Abend jeden Arbeitstages konnte ein genaues Bild des Bau-Ist-Zustandes und des Ressourcenbestandes gegeben werden. Es konnte sehr gut verfolgt werden, ob Zeitverzüge oder Lieferschwierigkeiten entstanden sind. Anpassungen der Vorgaben auf den Erfassungsbögen waren jedoch notwendig.

Die in den Projekten gesammelten Erfahrungen bestätigen, dass der Erfolg einer Baustelle stark von der Kompetenz der Bauleitung abhängt.

Eine bessere Bau-Ist-Erfassung sowie Bauablaufplanung, bspw. durch eine Bauprozesssimulation, ist erstrebenswert und könnte die Projektabwicklung sehr gut unterstützen. Eine Abbildung baufirmenspezifischer Vorgehensweisen ist allerdings unumgänglich. Insofern wäre der Aufbau eines Bauteilkataloges, dem Vorgänge und Ressourcen entnommen werden können, sehr sinnvoll.

Eine Anpassung an das konkrete Projekt und die ausführenden Firmen ist dessen ungeachtet bei jedem Projekt notwendig.

Es muss geprüft werden, ob der Einsatz einer verbesserten Erfassung bzw. Bauablaufplanung als Insellösung für ein Projekt überhaupt sinnvoll ist oder ob die Strukturen der ausführenden Firmen nicht die Betrachtung des Zusammenspiels mehrerer Projekte zwingend notwendig machen.

Es wurde sehr deutlich, dass der Erfolg des Erfassungskonzeptes mit der Akzeptanz der ausführenden Personen vor Ort steht und fällt. Eine Schulung der ausführenden Personen und die Vermittlung der Vorteile sowie der Notwendigkeit durch die Unternehmensführung ist eine Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz des Werkzeuges.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit stand die Frage, welche Daten notwendig sind, um die Bauprozesssimulation für die tägliche terminliche Aussteuerung eines Bauprojektes in der Ausführungsphase nutzen zu können. Der Fokus lag auf der Ausarbeitung eines Erfassungskonzeptes, das eine Taggenaue und ereignisbasierte Erfassung von Bau-Ist-Daten ermöglicht.

7.1 Zusammenfassung

Der Komplexität einer großen Baumaßnahme steht meist ein relativ unpräzises Termincontrolling gegenüber. Die Gründe dafür liegen in unzureichenden Baufortschrittsinformationen und der Schwierigkeit, eine geeignete Steuerungsmaßnahme auszuwählen. In der Folge kommt es häufig zu Terminverzügen und Mehrkosten.

Ziel der Arbeit war es, die realen Bau-Ist-Zustände eines Bauprojektes so genau zu erfassen, dass es möglich wird, täglich ein zutreffendes Abbild des Baufortschrittes und der Randbedingungen des Bauablaufes zu schaffen und mit Hilfe eines Simulationswerkzeuges nachzubilden. Zu diesem Zweck sollte ein Erfassungskonzept ausgearbeitet werden, mit dessen Hilfe unter Verwendung von Erfassungstechniken aussagekräftige sowie belastbare Daten zu einer auf die Anforderungen der Simulation abgestimmten Datenbasis zusammengeführt werden.

Um der Zielstellung gerecht zu werden, wurde anhand eines Beispiels ein Prozessmodell aufgebaut und definiert, welche Informationen zum Aufbau eines Simulationsmodells, das die reaktive Ablaufplanung unterstützt, erfasst werden müssen. Die einzelnen Prozessgrößen wurden detailliert beschrieben und die Erfassungsgrößen daraus abgeleitet. Weiterhin wurden Aussagen zur Prozessstrukturierung erarbeitet. Somit wurden Informationsstützstellen definiert.

Es wurden Methoden zur Erfassung des Bau-Ist-Zustandes hinsichtlich ihrer Eignung sowie Anwendungsmöglichkeiten analysiert und ausgewählte Anwendungsbeispiele für RFID, Barcodes und Bautagebücher dargestellt. Außerdem wurde betrachtet, welche Daten der baustelleneigenen Bauablaufdokumentation zur Belegung der Informationsstützstellen genutzt werden können. Diese Betrachtung stellte Dokumente in den Fokus, welche aufgrund von Vorschriften oder Vertragsbedingungen ohnehin auf Baustellen erfasst werden müssen.

Schließlich wurden die vorangegangenen Betrachtungen hinsichtlich der Erfassungsgrößen und der Erfassungsmethoden in einem Erfassungskonzept zusammengeführt und eine geeignete Kombination von Erfassungsmethoden entwickelt.

Der Baufortschritt soll anhand der Beschreibung, welchen Status die einzelnen Vorgänge angenommen haben, mit Hilfe eines digitalen Bautagebuchs erfasst werden. Die Randbedingungen, wie die Verfügbarkeit von Personal-, Material- und Geräteressourcen, werden mit Hilfe von RFID-Tags identifiziert, auf denen alle weiteren benötigten Informationen hinterlegt sind. Informationen über Ressourcen, welche geplante Termine wiedergeben, müssen ebenfalls im digitalen Bautagebuch hinterlegt und aktuell gehalten werden. Traditionelle Lieferscheine in Papierform müssen durch digitale Lieferscheine ersetzt werden.

Abgeschlossen wurde die Ausarbeitung des Erfassungskonzeptes durch Ansätze, mit deren Hilfe der Erfassungsaufwand reduziert werden kann. Zu diesem Zweck wurde eine hierarchische Ordnung des Erfassungskonzeptes eingeführt.

Im Ergebnis ist somit ein Erfassungskonzept entstanden, mit dessen Hilfe die realen Bau-Ist-Zustände einer Baumaßnahme so genau erfasst werden können, dass täglich ein zutreffendes Abbild des Baufortschrittes und der Randbedingungen des Bauablaufes in einer Simulationsumgebung generiert werden kann. Die Erfassungskonzeption liefert eine Datenbasis, die auf die Anforderungen der Simulation abgestimmt ist.

Das Erfassungskonzept wurde auf ein weiteres Bauteil aus Stahlbeton übertragen und anhand zweier realer Bauprojekte getestet. Der etwas artifizielle Praxistest hat gezeigt, dass das Erfassungskonzept mit relativ einfachen Mitteln erfolgreich umsetzbar ist. Es konnten wertvolle Erkenntnisse gesammelt werden, in welchen Punkten das Konzept an die Baurealität angepasst werden muss.

Das vorgestellte Konzept gibt für alle Aspekte der Zielstellung geeignete Lösungsvorschläge. Es bietet Potentiale zur Weiterentwicklung.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es prinzipiell möglich ist, eine Bau-Ist-Erfassung durch die Kombination von RFID und digitalem Bautagebuch aufzubauen, welche die in der Zielstellung dieser Arbeit genannten Ansprüche an eine Bau-Ist-Erfassung erfüllt.

Unverzichtbare Grundlage für den Aufbau des Erfassungskonzeptes ist jedoch eine genaue Prozessbeschreibung, die vorab erfolgen muss. Ohne eine Prozessbeschreibung ist ein sinnvoller Abgleich zwischen Bau-Soll und Bau-Ist nicht möglich.

Das Erfassungskonzept zieht vor, dass mit Hilfe eines digitalen Bautagebuches genau die notwendigen Informationen abgefragt werden und auch nur diese der Bauleitung zum Abhaken präsentiert werden.

Mit dieser Methodik ist es möglich, einer Bauprozesssimulation die Informationen zu liefern, die notwendig sind, um in einem vorhandenen Bauablaufmodell den tagaktuellen Bau-Ist-Zustand abzubilden.

7.2 Ausblick

Für eine Fortführung der Forschungsarbeit und Integration in einen größeren Gesamtkontext gibt es drei übergeordnete Ansatzpunkte: Die vertiefte Validierung des Erfassungskonzeptes in der Baupraxis, die Einbindung der Ergebnisse in die Forschungskonzeption des Lehrstuhls und die Überführung der baubetrieblichen Grundlagen in Software.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist ein theoretisches Konzept entstanden. Die logische Fortsetzung der Arbeit ist dessen praktische Anwendung. Die Konzeption sollte auf weiteren Baustellen umgesetzt und getestet werden. Anhand der Erkenntnisse der Praxistests kann das Konzept verbessert und ggf. nachjustiert werden. Probleme, welche in der Theorie nicht erkennbar waren, können identifiziert und behoben werden.

Mit Hilfe des vorgestellten Konzeptes ist eine theoretische Grundlage für die Erfassung von Bau-Ist-Daten entstanden, die erweitert werden sollte. Anhand der ausgearbeiteten Systematik kann das Erfassungskonzept auf weitere Bauteile übertragen werden. Spezifika der Erfassung weiterer Baustoffe, Bauverfahren oder Bauprojekte etc. könnten hinzukommen. Die theoretische Konzeption kann bspw. im Rahmen folgender Arbeiten erweitert werden.

Ein weiterer Aspekt ist die Zusammenführung mit anderen Forschungsarbeiten.

Die vorliegende Arbeit ist aufbauend auf der Dissertation von BEIBERT [6] entstanden. Parallel zu der vorliegenden Arbeit entstehen Dissertationen von LE HONG [54] und ELMAHDI [4], die ebenfalls auf die Dissertation von BEIBERT [6] aufbauen. Die drei Arbeiten wurden im Vorfeld der Bearbeitung thematisch voneinander abgegrenzt, sind aber Teil des Gesamtkonzeptes der Forschung am Lehrstuhl für Baubetrieb und Bauverfahren der Bauhaus-Universität Weimar.

Ein weiteres Ziel könnte die Integration in ein größeres Managementsystem bspw. für Baustellenlogistik sein.

Bereits im Hinblick auf eine spätere Implementierung des Bauprozesses in eine Simulationsumgebung wurde eine Zusammenfassung der Teilprozesse zu Hauptprozessen vorgenommen. Diese können die baubetriebliche Grundlage für die Programmierung von Simulationsbausteinen sein, aus denen später Bauprojekte in einer Simulationsumgebung zusammengesetzt werden können.

Abgerundet würde das Thema im Bereich der Bauprozesssimulation durch den Rückschluss zur Baustelle. Es werden Daten auf der Baustelle erhoben und in einem Simulationsmodell ausgewertet, um die Bauleitung in ihrer Entscheidungsfindung zu unterstützen. Daraus ergibt sich die Fragestellung, welche Informationen auf die Baustelle zurück gegeben werden und wie die Rückgabe so erfolgen kann, dass sie in der Baupraxis auch akzeptiert und genutzt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Achilles, M.: Konzeption einer systematischen Dokumentation der Bauausführung aus baurechtlich-baubetrieblicher Sicht. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2004.
- [2] Allen, J. F.: Maintaining knowledge about temporal intervals. In: Communications of the ACM, Volume 26 (1983), Issue 11, S. 832-843.
- [3] Babic, N. C.; Podbreznik, P.; Rebolj, D.: Integrating resource production and construction using BIM. Building Information Modeling and Collaborative Working Environments. In: Automation in Construction, Jg. 19 (2010), Heft 5, S. 539-543.
- [4] Bargstädt, H.-J.; Elmahdi, A.: Automatic generation of workspace requirements using qualitative and quantitative description. In: Proceedings 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality 2010, CONVR 2010, Japan, Sendai, S. 131 – 137.
- [5] Bargstädt, H.-J.; Steinmetzger, R.: Grundlagen des Baubetriebswesens. Skriptum zur Vorlesung, 3., überarbeitete Auflage. Weimar: Bauhaus-Universität (Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren, 20). 2010.
- [6] Beißert, U.; Bargstädt, H.-J.: Constraint-basierte Simulation zur Terminplanung von Ausführungsprozessen. Repräsentation baubetrieblichen Wissens mittels Soft Constraints. Universität, Dissertation. Weimar. Weimar: Verlag der Bauhaus-Universität (Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren, 23). 2012.
- [7] Bernold, L. E.: Testing bar-code technology in construction environment. In: Journal of Construction Engineering and Management, Jg. 116 (1990), Heft 4, S. 643-655.
- [8] Borrmann, A.; Schorr, M.: Innovativer Planen – Neue Technologien und Möglichkeiten. In: 2. ForBAU-Kongress. Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen (Hrsg.: ForBAU – Forschungsverbund Virtuelle Baustelle), 2011, S. 107-121
- [9] Buchop, E.: Zeitliche Erfassung von Kernprozessen als Teil der Prozessanalyse. Bremen: CT Salzwasser-Verlag (bdvb-Award Geschäftsprozess- und Projektmanagement). 2007.
- [10] Bundesanstalt für Straßenwesen; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten.: ZTV-ING. Teil 1 – 10. Köln: FGSV-Verlag. 2007.
- [11] Bundesanstalt für Straßenwesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING. Sammlung Brücken- und Ingenieurbau.

- Baudurchführung: Verkehrsblatt-Verlag Borgmann GmbH Co KG (Verkehrsblatt-Sammlung Nr. S 1056). 2003.
- [12] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Richtzeichnungen für Ingenieurbauten : RiZ-ING. 2007.
- [13] Cheng, M.-Y.; Chen, J.-C.: Integrating barcode and GIS for monitoring construction progress. In: Automation in Construction, Jg. 11 (2000), Heft 1, S. 23-33.
- [14] Deutsches Institut für Normung: DIN 1045-3. Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 3: Bauausführung. August 2008.
- [15] Deutsches Institut für Normung: DIN 69901-5. Projektmanagement; Projektmanagementsysteme - Teil 5: Begriffe. Januar 2009.
- [16] Deutsches Institut für Normung: DIN 69900. Projektmanagement – Netzplantechnik; Beschreibungen und Begriffe. Januar 2009 Beuth (Deutsche Norm, DIN 69900).
- [17] Drosdowski, G.: Duden - Das Große Fremdwörterbuch: Bibliographisches Institut, Mannheim. 1994.
- [18] Finch, E. F.; Flanagan, R.; Marsh, L. E.: Electronic Document management in construction using auto-ID. In: Automation in Construction, Jg. 5 (1996), Heft 4, S. 313-321.
- [19] Finkenzeller, K.: RFID-Handbuch. Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC. 5. Auflage München: Hanser. 2008.
- [20] Föhse, F.: Systematische Erfassung und Bewertung von Betonageprozessen am Beispiel der Ilmtalbrücke bei Langewiesen. Masterarbeit. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, Professur Baubetrieb und Bauverfahren. 2010.
- [21] ForBAU – Forschungsverbund Virtuelle Baustelle: Digitale Werkzeuge für die Bauplanung und -abwicklung. URL: <http://www.fml.mw.tum.de/forbau>. (zuletzt geprüft am 05.05.2013).
- [22] ForBAU – Forschungsverbund Virtuelle Baustelle (Hrsg.): Digitale Baustelle. Ein Weg zur neuen Partnerschaft. ForBAU-Kongress 2010.
- [23] Franz, V.: Planung und Steuerung komplexer Bauprozesse durch Simulation mit modifizierten Petri-Netzen. Dissertation. Kassel. Universität Kassel, Bauingenieurwesen. 1989.
- [24] Fraunhofer Institute Mikroelektronische Schaltungen und Systeme: RFIDs funken durch Metall. Pressemitteilung vom 06.02.2009. Duisburg. URL: <http://www.ims>.

fraunhofer.de/fileadmin/media/Pressemitteilung_RFIDs_funken_durch_Metall.pdf,
zuletzt geprüft am 05.05.2013.

- [25] Geiß, M.: Laserscanning als Mittel zur großflächigen Aufnahme von Infrastrukturbaumaßnahmen: Kinematisch. In: ForBAU – Forschungsverbund Virtuelle Baustelle (Hrsg.): 2. ForBAU-Kongress. Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen. 2011. S. 87-99.
- [26] Girmscheid, G.: Forschungsmethodik in den Baubetriebswissenschaften. Zürich: Eigenverlag des IBB an der ETH. 2004.
- [27] Girmscheid, G.: Angebots- und Ausführungsmanagement – Leitfaden für Bauunternehmen. Erfolgsorientierte Unternehmensführung vom Angebot bis zur Ausführung. Berlin: Springer. 2005.
- [28] Golparvar-Fard, M.; Pena-Mora, F.; Savarese, S.: Application of D4AR -A4-Dimensional augmented reality model for automating construction progress monitoring data collection, processing and communication. In: ITcon, Jg. 2009, Heft 14, S. 129-153.
- [29] Griebel, B.: Der zeitnahe Soll-Ist-Vergleich aus Sicht der Baustelle. Dissertation. Darmstadt. Technische Universität Darmstadt. Berlin: Mensch & Buch-Verlag. 2000.
- [30] Günthner, W. A: ForBAU – Forschungsverbund Virtuelle Baustelle: Virtuelle Baustelle – Abschlussbericht 2010. Digitale Werkzeuge für die Bauplanung und -abwicklung. Garching: Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik. 2010.
- [31] Günthner, W. A.; Schneider, O.: RFID-Einsatz in der Baubranche: Entwicklung eines RFID-Systems mit mobilen Gates auf Baustellen zur schnellen Identifikation und Verfolgung von Betriebsmitteln zwischen Baustellen und Werken. Abschlussbericht, IGF-Vorhaben 15288N/1 der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik e.V. – BVL. TU München, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik.
- [32] Haardt, P.: Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz. Stufen 1 und 2. Bremerhaven: NW-Verlag. 2003.
- [33] Heim, M.; Motzko, C.: Zeitnahe Leistungsfeststellung von Baustellen durch Bildinformationssysteme. Bauingenieur. Düsseldorf: Springer VDI Verlag: 77 (2002) 2.
- [34] Heim, M.: Die zeitnahe Leistungsfeststellung von Baustellen. Unter besonderer Berücksichtigung von Bildinformationssystemen. Technische Universität, Dissertation. Darmstadt. Göttingen: Cuvillier. 2002

- [35] Heim, M.; Motzko, C.: Neue Methoden des Projektcontrolling unter Anwendung von Bildinformationssystemen. In: VDI-Berichte 1668. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH. 2002.
- [36] Helmus, M.; Kelm, A.; Laußat, L.: Identifizierung von Personen und persönlicher Schutzausrüstung auf Baustellen: Wie der Einsatz von Baustellenausweisen, Auto-ID-Technik und Sensorik zur Verbesserung der Baukultur führen kann. In: Motzko, C. (Hrsg.): Baubetriebliche Aufgaben. Festschrift anlässlich des 30-jährigen Bestehens des Instituts für Baubetrieb der Technischen Universität Darmstadt. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH. 2009. S. 133-143.
- [37] Helmus, M.; Kelm, A.; Laußat, L.: RFID-Technik als Möglichkeit, die Arbeitsvorbereitung zu optimieren. In: TU Graz (Hrsg.): 8. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium. 2010.
- [38] Helmus, M.; Kelm, A.; Laußat, L.; Meins-Becker, A.: RFID in der Baulogistik. Forschungsbericht zum Projekt „Integriertes Wertschöpfungsmodell mit RFID in der Bau- und Immobilienwirtschaft“. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag. 2009.
- [39] Helmus, M.; Weber, O.: Baustellenkoordination mit Radio Frequency Identification (RFID). In: Baumarkt + Bauwirtschaft. Gütersloh: Bauverlag, Jg. 105 (2006), Nr.8, S. 29-31.
- [40] Helmus, M.; Weber, O.: Erfassung von Bauprozessdaten zur zeitnahen Steuerung von Bauproduktionsprozessen mit RFID. Bergische Universität Wuppertal. 2008.
- [41] Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI) in der Fassung vom 30.04.2009, URL: http://www.hoi.de/online/HOAI_2009/HOAI_2009.php#3, zuletzt geprüft am 14.11.2012.
- [42] Hu Wenfa: Integration of Radio-Frequency-Identification and 4D CAD in Construction Management. In: Tsinghua Science and Technology, Jg. 13, Heft S1, S. 151-157.
- [43] Imboden, D., M.; Koch, S.: Systemanalyse : Einführung in die mathematische Modellierung natürlicher Systeme. Berlin: Springer. 2008.
- [44] Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren: Ereignisgesteuerte Prozessketten. Vorlesungsfolien. Kapitel 10. Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren. URL: http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/Lehre/Winter2003-04/AngInformatik1/documents/Kap10_1.pdf, zuletzt geprüft am 26.06.2012.

-
- [45] Janberg, N.: Ilmtalbrücke. URL: <http://de.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0032726>, zuletzt geprüft am 05.05.2013.
- [46] Jaselskis, E. J.; Anderson, M., R.; Jahren, C., T.; Rodriguez, Y.; Njos, S.: Radio-Frequency Identification Applications in Construction Industry. In: Journal of Construction Engineering and Management, Jg. 121 (1995), Heft 2, S. 189-196.
- [47] Jaselskis, E. J.; El-Misalami, T.: Implementing Radio Frequency Identification in the Construction Process. In: Journal of Construction Engineering and Management, Jg. 129 (2003), Heft 6, S. 680-688.
- [48] Jesse, R.; Rosenbaum, O.: Barcode. Theorie, Lexikon, Software. Berlin: Verlag Technik. 2000.
- [49] Kalz, M.: Bauüberwachung im Brückenbau – Erfassung des Bauprozesses von Brückenkapfen. Bachelorarbeit. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, Professur Baubetrieb und Bauverfahren. 2009.
- [50] Klaubert, C.; Schneider, O.: RFID-Theke – Automatische Identifikation und Verbuchung von Mietgeräten. URL: <http://idw-online.de/pages/de/news317548>, zuletzt aktualisiert am 28.05.2009, zuletzt geprüft am 05.05.2013.
- [51] Klaubert, C.; Schorr, M.; Günthner, W. A.: Real time construction progress control using NFC. In: Proceedings RFID Systech 2010 – European Workshop on Smart Objects: Systems, Technologies and Applications. 2010.
- [52] Kuhnt, M.: Hierarchisches Scheduling. Diplomarbeit. Ulm: Universität Ulm, Abteilung Künstliche Intelligenz. 2003.
- [53] Langlotz, T.; Bimber, O.: Unsynchronized 4D Barcodes. Coding and Decoding Time-Multiplexed 2D Colorcodes. Bauhaus-Universität Weimar. URL: <http://e-pub.uni-weimar.de/opus4/frontdoor/index/index/docId/853>, zuletzt geprüft am 05.05.2013.
- [54] Le Hong Ha; Bargstädt, H.-J.: Simulation Approach to Integrate the Weather Impact into the Execution Planning. In: Zülch, G.; Stock, P. (Hrsg.): ASIM-Mitteilung, Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing. 2010.
- [55] Lenk, B.: Handbuch der automatischen Identifikation. Kirchheim unter Teck: Lenk. 2003.
- [56] Li, J.; Moselhi, O.; Alkass, S.: Internet-based database management system for project control. In: Engineering, Construction and Architectural Management, Jg. 13 (2006), Heft 3, S. 242-253.

- [57] Lyhs, P.: Der Stein des Anstoßes – Brückenkappen an der A 20. In Vorträge der Veranstaltung „CEMEX Zement Beton-Forum'08“. URL: <http://www.cemex.de/betonforum/2008.htm> zuletzt geprüft am 26.06.2012.
- [58] Männel, W.: Prozeßkostenrechnung. Bedeutung Methoden Branchenerfahrungen Softwarelösungen. Wiesbaden: Gabler. 1995.
- [59] Mobile: <http://mobile-www.informatik.uni-hamburg.de/MOBILE/Klass/Zeitbezug.html>, zuletzt geprüft am 05.05.2013.
- [60] Motzko, C.; Maffini, S.: Aufbau eines Informationssystems zur Leistungsfeststellung im Brückenbau – „Neue Svinesundbrücke“ in Schweden. In: Tiefbau. Fachzeitschrift der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft Prävention. Berlin, München: E. Schmidt, Heft 11/2004, S. 692-696.
- [61] Navon, R.; Sacks, R.: Assessing research issues in Automated Project Performance Control (APPC). In: Automation in Construction, Jg. 16 (2007), Heft 4, S. 474-484.
- [62] Navon, R.: Research in automated measurement of project performance indicators. In: Automation in Construction, Jg. 16 (2007), Heft 2, S. 176-188.
- [63] Parthey, H.; Spur, G.: Wissenschaft und Technik in theoretischer Reflexion. Frankfurt am Main: Lang. 2007.
- [64] Peña-Mora, F.; Golparvar-Fard, M.; Fukuchi, Y.; Savarese, S.: D4AR – 4D Augmented Reality – Models for As-built Visualization and Automated Progress Monitoring of Civil Infrastructure Projects. In: Makanae, K.; Yabuki, N.; Kashiyaama, K. (Hrsg.): Proceedings of the 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR 2010), S. 15-21. (2010)
- [65] Pflug, C.: Entwicklung eines digitalen Informationssystems zur Baustellendokumentation und Leistungsfeststellung. Institutsbericht – Institut für Baubetrieb 2004-2007. Darmstadt. TU Darmstadt, Institut für Baubetrieb. 2007.
- [66] Pflug, C.: Ein Bildinformationssystem zur Unterstützung der Bauprozesssteuerung. Dissertation. Darmstadt. Technische Universität Darmstadt. Darmstadt: Schriftenreihe des Instituts für Baubetrieb. 2008.
- [67] Podbreznik, P.; Rebolj, D.: Automatic comparison of site images and the 4D model of the building. In: University of Maribor (Hrsg.): Bringing ITC knowledge to work. 24th W78 Conference. CIB, Bd. 2007.
- [68] Podbreznik, P.; Rebolj, D.: Real-time activity tracking system – the development process. University of Maribor, Faculty of civil engineering, Construction IT centre,

- Maribor, Slovenia. In: University of Maribor (Hrsg.): Bringing ITC knowledge to work. 24th W78 Conference. CIB, Bd. 2007.
- [69] Rasdorf, W. J.; Herbert M. J.: Bar Coding in Construction Engineering. In: Journal of Construction Engineering and Management, Jg. 1990, Heft 116, No. 2, S. 261-280.
- [70] Rasdorf, W. J.; Herbert, M. J.: Automated Identification Systems – Focus on Bar Coding. In: Journal of Computing in Civil Engineering, Jg. 4 (1990), Heft 3, S. 279-295.
- [71] Rebolj, D.; Babic, N. C.; Magdic, A.; Podbreznik, P.; Psunder, M. Automated construction activity monitoring system. In: Advanced Engineering Informatics, Jg. 22 (2008):, Heft 4, S. 493-503.
- [72] Rebolj, D.; Podbreznik, P.; Babic, N. C.: 4D model Based automated construction activity monitoring. In: eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction (ECPPM 2008), S. 553-556. 2008.
- [73] Ren, Z.; Sha, L.; Hassan, T. M.: RFID facilitated construction material management – a case study of water supply project. In: University of Maribor (Hrsg.): Bringing ITC knowledge to work. 24th W78 Conference. CIB, Bd. 2007.
- [74] RFID Centre: The Independent European Centre for RFID, Wireless and Mobility. URL: <http://www.rfidc.com/docs/about.htm>, zuletzt geprüft am 26.06.2012.
- [75] RFID-Journal: RFID versus Barcode. URL: <http://www.rfid-journal.de/barcode.html>, zuletzt geprüft am 05.05.2013.
- [76] Rutzen, M.: Bauüberwachung im Brückenbau – Darstellung des Leistungsbildes der Bauleitung/Bauüberwachung am Beispiel einer Brücke. Diplomarbeit. Weimar. Bauhaus-Universität Weimar, Professur Baubetrieb und Bauverfahren. 2009.
- [77] Sauer, J.: Intelligente Ablaufplanung in lokalen und verteilten Anwendungsszenarien. Stuttgart: Teubner. 2004.
- [78] Sauer, J.; Appelrath, H.-J.; Bruns, R.; Henseler, H.: Design-Unterstützung für Ablaufplanungssysteme. In: KI Künstliche Intelligenz, Jg. 1997, Ausgabe 2/97.
- [79] Schenk, M.; Fraunhofer: Logistik mit intelligenten Identifikationssystemen (RFID), Identifizieren, Lokalisieren, Kommunizieren, Steuern. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2008.
- [80] Schenk, M.; Inderfurth, K.; Neumann, G.; Wäscher, G.; Ziems, D.: Sicherung von Prozessketten. In: 12. Magdeburger Logistik-Tagung 2006.

- [81] Seyfferth, G.: Praktisches Baustellen-Controlling. Handbuch für Bau- und Generalunternehmen. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft. 2003.
- [82] Smith, S. F.; Becker, M. A.: Scheduling and Visualization. Final Technical Report. Carnegie Mellon University. 2004. URL: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA424933&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf>, zuletzt geprüft am 05.05.2013.
- [83] Song, J.; Haas, C. T.; Caldas, C. H.; Ergen, E.; Akinci, B.: Automating the task of tracking the delivery and receipt of fabricated pipe spools in industrial projects. In: Automation in Construction, Jg. 15 (2006), Heft 2, S. 166-177.
- [84] Sriprasert, E.; Dawood, N.: Requirements identification for 4D constraint based construction planning and control system. Conference Proceedings – distributing knowledge in building. In: Distributing Knowledge In Building. W78 Conference 2002. URL: <http://itc.scix.net/cgi-bin/works/Show?w78-2002-90>, zuletzt geprüft am 05.05.2013.
- [85] Stone, W. C.; Pfeffer, L. E.; Furlani, K. M.: Automated Part Tracking on the Construction Job Site. In: Proceedings of the Robotics 2000 – ASCE Conference on Robotics for Challenging Environments. 2000.
- [86] Thowfeek, A.; Dawood, N.; Marasini, R.; Dean, J.: Industrial case study of innovative managerial control system applied to site control process (IMCS-CON). In: University of Maribor (Hrsg.): Bringing ITC knowledge to work. 24th W78 Conference. CIB, Bd. 2007, S. 309-318.
- [87] Torrent, D. G.; Caldas, C. H.: Proactive Field Materials Management using Integrated Location And Identification Sensing Technologies. In: Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering (ICCCBE'06), S. 1006-1014. 2006.
- [88] Tzeng, C.-T.; Chiang, Y.-C.; Chiang, C.-M.; Lai, C.-M.: Combination of radio frequency identification (RFID) and field verification tests of interior decorating materials. In: Automation in Construction, Jg. 18 (2008), Heft 1, S. 16-23.
- [89] VDI -Richtlinie 3633 Entwurf, Dezember 2010: Simulation von Logistik-, Materialfluss und Produktionssystemen Grundlagen.
- [90] Weißberg, C.: Brückenbau – Erfassung, Bewertung und Simulation des Bauprozesses von Brückenkappen am Beispiel der Hörseltalbrücke. Diplomarbeit. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, Professur Baubetrieb und Bauverfahren. 2009.
- [91] Wikipedia: Ilmtalbrücke. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Ilmtalbrücke>, zuletzt geprüft am 05.05.2013.

- [92] Yagi, J.; Arai, E.; Arai, T.: Parts and packets unification radio frequency identification application for construction. In: Automation in Construction, Jg. 14 (2005), Heft 4, S. 477-490.
- [93] Zukunft Bau (Hrsg.): Tagungsband RFID im Bau, Forschungsinitiative Zukunft Bau. Bannewitz: Addprint AG. 2008.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema für 4D-System [68]	8
Abbildung 2: Konzeptschema „Automated construction activity monitoring system“ [71].....	9
Abbildung 3: Grundelemente der EPK [43]	20
Abbildung 4: Ausschnitt EPK (eigene Darstellung)	21
Abbildung 5: Abstract Domain Modell [82].....	21
Abbildung 6: Brückenkappe nach [12]	27
Abbildung 7: Übersichtskarte „A4 Hörselberge“ [90].....	28
Abbildung 8: Hörseltalbrücke [89]	28
Abbildung 9: Böbertalbrücke [49]	29
Abbildung 10: Ilmtalbrücke bei Langewiesen	29
Abbildung 11: Querschnitt Ilmtalbrücke [91].....	29
Abbildung 12: Fräsvorgang [90].....	30
Abbildung 13: Grundierung [90]	30
Abbildung 14: Verkleben der Schweißbahn [90]	30
Abbildung 15: Verkleben der Schutzlage [90]	31
Abbildung 16: Montage Kappenschalwagen [90].....	31
Abbildung 17: Bewehrung Kappe [90].....	31
Abbildung 18: Die Relationen zwischen Intervallen [52].....	32
Abbildung 19: Aufbau Brückenkappe (eigene Darstellung).....	33
Abbildung 20: Horizontale und vertikale Strukturdimension von Prozessen [9]	40
Abbildung 21: Gliederung der Prozessbestandteile (eigene Darstellung)	41
Abbildung 22: Taktung.....	44
Abbildung 23: Auszug aus der bautechnologischen Prozessstrukturierung	45
Abbildung 24: Beispiel für Vorgang und Ereignis	52
Abbildung 25: Beispiel für Vorgang und Ereignis mit Korrektur	52
Abbildung 26: Ausschnitt EPK (Teil 1).....	53
Abbildung 27: Ausschnitt EPK (Teil 2).....	54
Abbildung 28: Ausschnitt EPK (Teil 3).....	55
Abbildung 29: Ausschnitt EPK (Teil 4).....	56
Abbildung 30: Konzept Datenakquise (eigene Darstellung)	67
Abbildung 31: Diagramm: Welche Berichte werden geführt? [76].....	72
Abbildung 32: Diagramm Tagesberichte [76]	72
Abbildung 33: Diagramm Datenverarbeitung [76]	72
Abbildung 34: Elemente eines RFID-Systems [40].....	77

Abbildung 35: Barcode Activity-ID [69]	80
Abbildung 36: Barcode Status-ID [69]	80
Abbildung 37: Hierarchisches Erfassungskonzept (in Anlehnung an [30])	99
Abbildung 38: Ärztehaus im Bau	104
Abbildung 39: Abmessungen Ärztehaus	104
Abbildung 40: EPK Stahlbetondecke Ärztehaus, Teil 1	105
Abbildung 41: EPK Stahlbetondecke Ärztehaus, Teil 2	106
Abbildung 42: Erfassungsblatt Bau-Ist Vorgänge Ärztehaus	111
Abbildung 43: Erfassungsblatt ID-Zuordnung Ressourcen Ärztehaus	112
Abbildung 44: Erfassungsblatt Ressourcen Ärztehaus	113
Abbildung 45: Planung Erweiterung Einfamilienhaus	114
Abbildung 46: EPK Stahlbetondecke Wohnhaus, Teil 1	115
Abbildung 47: EPK Stahlbetondecke Wohnhaus, Teil 2	116
Abbildung 48: Erfassungsblatt Bau-Ist Vorgänge Wohnhaus	117
Abbildung 49: Erfassungsblatt ID-Zuordnung Ressourcen Wohnhaus	118
Abbildung 50: Erfassungsblatt Ressourcen Wohnhaus	118

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einsatzmöglichkeiten von Autoident-Technologien zur Identifikation von	11
Tabelle 2: Beispiel Teilprozess	42
Tabelle 3: Beispiel Hauptprozess „Betonieren“	43
Tabelle 4: Auszug aus Prozessübersicht (vollständige Tabelle siehe Anlage 3)	47
Tabelle 5: Prozesse, deren Dauer > 1 AT ist.....	50
Tabelle 6: Zusammenfassung der Modellparameter	51
Tabelle 7: Vorgänge und Ereignisse	57
Tabelle 8: Fortsetzung Tabelle 7.....	58
Tabelle 9: Personalressourcen für das Beispiel Brückenkappe.....	61
Tabelle 10: Geräteressourcen für das Beispiel Brückenkappe.....	62
Tabelle 11: Eigenschaften Geräteressourcen (beispielhaft)	63
Tabelle 12: Materialressourcen für das Beispiel Brückenkappe	64
Tabelle 13: Vorgaben der ZTV-ING [10].....	69
Tabelle 14: Vorgaben der DIN 1045, Teil 3 [14].....	70
Tabelle 15: Vergleich Erfassungsmethoden	76
Tabelle 16: Vergleich Vor- und Nachteile der Erfassungsmethoden.....	86
Tabelle 17: Zuordnung Erfassungsmethoden zu Informationsquellen für Vorgänge	87
Tabelle 18: Erfassungsgrößen für alle Vorgänge des Beispielprozesses	89
Tabelle 19: Erfassungsgrößen für alle Ereignisse des Beispielprozesses	92
Tabelle 20: Zuordnung Erfassungsmethoden zu Informationsquellen für Ressourcen	95
Tabelle 21: Teilprozesse und Ressourcenbedarf Ärztehaus.....	107
Tabelle 22: Informationsstützstellen für Vorgänge – Bsp. Ärztehaus	108
Tabelle 23: Informationsstützstellen für Personalressourcen – Bsp. Ärztehaus	109
Tabelle 24: Informationsstützstellen für Geräteressource – Bsp. Ärztehaus	110
Tabelle 25: Informationsstützstellen für Materialressource – Bsp. Ärztehaus	110

Glossar

Ablaufplan (en: flow plan)

<Projektmanagement> Übersicht über den geplanten sachlichen, unter Umständen auch zeitlichen Ablauf des Projektgeschehens, orientiert am Projektziel, den Realisierungsbedingungen und den geplanten Ergebnissen [15]

Ablaufplanung (en: scheduling)

Zeitliche Zuordnung von Ressourcen zu Vorgängen, wobei bestimmte Constraints eingehalten und Planungsziele erreicht werden sollen [77].

Ablaufstruktur (en: flow structure)

Darstellung der Elemente (z. B. Vorgänge) eines Ablaufes sowie deren zeitlichen und logischen (Anordnungs-) Beziehungen untereinander [15]

Abnahme (en: acceptance)

<Projektmanagement> unternehmerische Entscheidung des Auftraggebers, dass ein (Teil-) Ergebnis den Vereinbarungen und Erwartungen entspricht und somit als Grundlage für nachfolgende Prozesse verwendet werden kann und muss. ANMERKUNG: Die Abnahme erfolgt in Verbindung mit einer Abnahmeprüfung und wird in einem Abnahmedokument (gegebenenfalls unter Vorbehalt) protokolliert. Sie hat üblicherweise wesentliche Rechtsfolgen, z. B. den Beginn von Zahlungs- und Gewährleistungsfristen, den Haftungs- und Beweislastübergang usw. [15]

Istwert (en: actual value)

<Projektmanagement> Wert, der sich bei der Abwicklung des Projekts tatsächlich ergeben hat [15]

ANMERKUNG: Istwerte können sehr unterschiedlich nach dem Zeitpunkt der Erfassung definiert sein, z. B. nach der Entstehung, der Abrechnung, der Bezahlung, der Anerkennung. Sie werden üblicherweise Plan- oder Sollwerten gegenübergestellt.

Projektcontrolling (en: project controlling)

Sicherstellung des Erreichens aller Projektziele durch Ist-Datenerfassung, Soll-Ist-Vergleich, Analyse der Abweichungen, Bewertung der Abweichungen gegebenenfalls mit Korrekturvorschlägen, Maßnahmenplanung, Steuerung der Durchführung von Maßnahmen. [15]

Soll-Wert (en: imposed value)

Wert in einem der Pläne des Projekts, der für die Abwicklung des Projekts vorgegeben wurde. ANMERKUNG Der Sollwert kann durch Bekräftigung eines Planwertes entstehen oder durch Managemententscheidung auch bewusst von ihm abweichen. [15]

zeitdiskret

Zeitdiskret konzipierte Modelle betrachten die Änderungen des Modellzustands nur an bestimmten diskreten Zeitpunkten. Das Verhalten des Systems zwischen diesen Zeitpunkten wird vom Modell her nicht berücksichtigt und als konstant angenommen. Daraus ergeben sich zwangsläufig Abweichungen zu einem in der Realität stetig ablaufenden Vorgang. Die Zustandsvariablen bleiben in ihren Werten zwischen den Zeitpunkten konstant und eine Änderung tritt sprunghaft erst zu bestimmten Zeitpunkten auf. Zeitdiskret arbeitende Modelle können weiterhin noch bezüglich der Art der Zeitsteuerung klassifiziert werden [59].

Anhang 1 - Dokumentation Bauablauf Hörseltalbrücke

Die Dokumentation wurde im Rahmen einer Diplomarbeit [89] erstellt. Die Darstellung wurde systematisiert und auf wenige Bilder reduziert wiedergegeben. Sie umfasst nicht alle Vorgänge.

Prüfung der Betondeckung (A_{30})

Die Betondeckung über der Bewehrung (Abbildung 51) wird gemessen.

- Geräte: ein Prüfgerät Betondeckung
- Personal: ein Bauleiter, ein Bauüberwacher

Das in Abbildung 52 (links) abgebildete Messgerät wird über den Beton gerollt. Im Anschluss werden die Daten auf die Auswertungseinheit (Abbildung 52, rechts) übertragen. Die Auswertungseinheit liefert Angaben über Betondeckung, Bewehrungstiefe und -durchmesser. Anschließend erstellt die Bauüberwachung ein Protokoll.



Quelle: [89]

Abbildung 51: Messung



Quelle: [89]

Abbildung 52: Messgerät

Kugelstrahlen (A₆₀)

Das Kugelstrahlen dient der Herstellung eines Haftgrundes für die Grundierung.

- Geräte: ein Kugelstrahlgerät inkl. Absauger
- Personal: zwei Abdichter

Es müssen mindestens 8 °C Lufttemperatur sein, die Luftfeuchte darf nicht mehr als 80 % betragen und der Untergrund muss trocken, staubfrei sowie fettfrei sein. Abbildung 53 zeigt das Kugelstrahlgerät inkl. Absauger. Abbildung 54 zeigt den Arbeitsgang. Die Stahlkugeln (aus Alteisen) werden auf die Betonoberfläche geschleudert, so dass die obersten losen Bestandteile gelöst werden. Das lose Material wird anschließend aufgesaugt.



Abbildung 53: Kugelstrahlgerät



Abbildung 54: Kugelstrahlen

Säuberung der Kappenbereiche (A₇₀)

Abbildung 55 zeigt die Säuberung des Untergrundes mit dem Druckluftgerät nach dem Fräsen, Schleifen und Kugelstrahlen.

- Geräte: ein Druckluftgerät
- Personal: ein Abdichter



Abbildung 55: Abstrahlen des Untergrundes

Prüfung der Abreißfestigkeit vor der Abdichtung (A_{80})

Auf 500 m² Fläche werden drei Versuche zur Prüfung der Abreißfestigkeit gemacht.

- Geräte: ein Haftzuggerät
- Personal: ein Abdichter (Vorarbeiter), ein Polier

Vorbohren von Löchern

Abbildung 56 zeigt das Vorbohren der Löcher. Auf Abbildung 57 sieht man die Bohrung. Sie ist 10 mm tief.



Quelle: [89]

Abbildung 56: Vorbohren von Löchern



Quelle: [89]

Abbildung 57: Bohrung

Kleber mischen

Abbildung 58 zeigt das Mischen von Spezialkleber und Härter. Die Mischung hat eine sehr kurze Aushärtungszeit (je nach Randbedingung etwa 8 min).



Quelle: [89]

Abbildung 58: Mischen des Klebers

Bohrlöcher reinigen

Anschließend werden die Löcher mit einer Bürste von dem Betonstaub gereinigt.

Stempel aufsetzen

Der Spezialkleber wird auf die Stempel aufgebracht (Abbildung 59, Abbildung 60). Diese werden auf die vorgebohrten Prüfstellen aufgesetzt (Abbildung 61). Abbildung 62 zeigt den aufgeklebten Stempel.



Abbildung 59: Kleber vorbereiten



Abbildung 60: Kleber auf Stempel auftragen



Abbildung 61: Stempel aufsetzen



Abbildung 62: Aufgeklebter Stempel

Kleber aushärten lassen

Im Anschluss muss der Kleber aushärten.

Haftzuggerät anstecken

Wenn der Kleber ausgehärtet ist, dann werden auf die Stempel Gegenstempel (Abbildung 63) aufgeschraubt. Abbildung 64 zeigt das Aufschrauben des Gegenstempels. Auf den Gegenstempel wird das Haftzuggerät aufgesteckt.



Abbildung 63: Gegenstempel



Abbildung 64: Anbringen des Gegenstempels

Haftzugversuch

Abbildung 65 zeigt den Haftzugversuch. Das Haftzuggerät zieht mit zunehmender Kraft an dem angeklebten Stempel, bis es zum Abriss kommt. Abbildung 66 zeigt den abgerissenen Stempel und das Messergebnis. Anschließend wird ein Protokoll angefertigt, das im Original der Auftraggeber (ARGE) erhält und in Kopie beim Nachunternehmer verbleibt.



Abbildung 65: Haftzugversuch



Abbildung 66: Ergebnis Haftzugversuch

Prüfung der Rautiefe vor der Grundierung (A₉₀)

Die Rauigkeit der Oberfläche wird geprüft.

- Geräte: Sand, Stempel, Zollstock, kleiner Messbecher/Kappe
- Personal: ein Abdichter, ein Polier

Sandauftrag

Abbildung 67 und Abbildung 68 zeigen den Sandauftrag. Mit einem Messbecher werden drei mal 10 ml Sand auf den Beton gebracht und mit Kreisbewegungen verteilt.



Abbildung 67: Sandauftrag



Abbildung 68: Verteilung in Kreisbewegungen

Ergebnismessung

Der Kreisdurchmesser wird, wie in Abbildung 69 dargestellt, gemessen. 20 cm sind das Minimum, das erreicht werden darf. Wenn der Durchmesser kleiner ist, dann müssen an diesen Stellen Kratzspachtelungen aufgetragen werden. Die Ergebnisse werden in einem Protokoll vermerkt.



Abbildung 69: Messen des Durchmessers

Grundierung transportieren (A₄₀₀)

Die Materialien für die Grundierung werden transportiert.

- Geräte: ein Hochbaukran
- Personal: ein Kranführer, zwei Abdichter

Es werden Dichtmaterial (Abbildung 70) und Abstreusand (Abbildung 71) geliefert. Der Transport erfolgt mittels Hochbaukran auf den Überbau.



Abbildung 70: Dichtmaterial



Abbildung 71: Abstreusand

Grundierung herstellen (A₄₀₅)

Die Grundierung wird hergestellt.

- Personal: zwei Abdichter

Mischen der Grundierung

Das Mischen der Grundierung ist in Abbildung 72 zu sehen. Die Grundierung dient der Verschlüßung von Poren gegen Schadstoffe, die den pH-Wert des Betons ändern und somit den Korrosionsschutz verringern.

Auftrag der Grundierung

Die Grundierung wird zunächst mit einem Eimer aufgetragen (siehe Abbildung 73).



Abbildung 72: Mischvorgang



Abbildung 73: Grob auftrag

Verteilung der Grundierung

Anschließend wird die Grundierung mit dem Abzugsgerät verteilt (siehe Abbildung 74) und der Untergrund gesättigt.



Abbildung 74: Verteilung mit Abzugsgerät

Ausrollen der Grundierung

Auf der abgezogenen Fläche wird mit einem Roller die Grundierung (siehe Abbildung 75 und Abbildung 76) gleichmäßig verteilt.



Abbildung 75: Verteilen + Ausrollen



Abbildung 76: Ausrollen der Grundierung

Abstreuerung mit Sand (A₄₀₆)

Die grundierte Fläche wird mit Sand abgestreut (siehe Abbildung 77), um den Haftgrund für die zweite Schicht herzustellen.

- Personal: ein Abdichter



Abbildung 77: Abstreuen

Aushärten der Grundierung (A₄₀₇)

Die Grundierung muss aushärten.

Beseitigung des überschüssigen Quarzsandes (A₄₀₈)

Der nicht haftende Quarzsand wird beseitigt (siehe Abbildung 78).

- Personal: ein Abdichter



Abbildung 78: Entfernung des überschüssigen Sandes

Herstellung Versiegelung (A₄₁₅)

Drei Personen arbeiten parallel. Ein Abdichter mischt das Epoxidharz an und verteilt es mit dem kleinen Eimer entlang an der Kappe. Ein anderer Abdichter verteilt mit dem Abzugsggerät das Epoxidharz auf der gesamten Kappenbreite. Der dritte Abdichter verteilt das Epoxidharz gleichmäßig mit dem Roller.

- Personal: drei Abdichter

Mischen der Versiegelung

Die Versiegelung (Epoxidharz) wird gemischt.

Auftrag der Versiegelung

Das Epoxidharz wird mit einem kleinen Eimer verteilt (siehe Abbildung 79).



Abbildung 79: Auftrag der Versiegelung

Verteilung der Versiegelung

Mit dem Abzugsgerät wird das Epoxidharz Bahn für Bahn verteilt (siehe Abbildung 80).



Abbildung 80: Verteilung der Versiegelung

Ausrollen der Versiegelung

Auf der abgezogenen Fläche wird die Versiegelung mit einem Roller gleichmäßig verteilt.(siehe Abbildung 81).



Abbildung 81: Ausrollen der Grundierung

Prüfung der Abreißfestigkeit Versiegelung (A₄₂₀)

Auf 500 m² Fläche müssen drei Versuche gemacht werden.

- Geräte: ein Haftzuggerät
- Personal: ein Abdichter (Vorarbeiter), ein Polier

Vorbohren von Löchern

Die Löcher werden 10 mm tief vorgebohrt.

Kleber Mischen

Spezialkleber und Härter werden gemischt. Nach einer sehr kurzen Aushärungszeit (je nach Randbedingungen etwa 8 min) wird dieser Spezialkleber auf den Stempel aufgebracht und der Stempel an die vorgebohrte Prüfstelle gesetzt.

Bohrlöcher reinigen

Zuvor werden die vorgebohrten Löcher mit einer Bürste von Betonstaub gereinigt.

Stempel aufsetzen

Es werden drei Stempel an der Außenkappe und zwei Stempel an der Innenkappe aufgesetzt.

Kleber Aushärten lassen

Anhand der Reste auf dem Spatel wird sichtbar, wann der Kleber ausgehärtet ist. (Beim Aushärten entwickelt der Kleber starke Hitze.

Haftzuggerät anstecken

Wenn der Kleber ausgehärtet ist, werden Gegenstücke auf die Stempel aufgeschraubt (Abbildung 82) und das Haftzuggerät angesteckt.



Abbildung 82: Haftzuggerät neben Stempel

Haftzugversuch

Das Haftzuggerät (Abbildung 83) zieht mit zunehmender Kraft an dem angeklebten Stempel, bis es zum Abriss kommt. Der Messwert (Abbildung 84) wird notiert. Anschließend wird ein Protokoll angefertigt.



Abbildung 83: Haftzugversuch



Abbildung 84: Ergebnis Haftzugversuch

Bitumenschweißbahnen transportieren (A₄₃₀)

Das Material (Abbildung 85) wird mit Hilfe eines Kranes (Abbildung 86) an den Einbauort transportiert.

- Geräte: ein Hochbaukran
- Personal: ein Abdichter, ein Kranführer

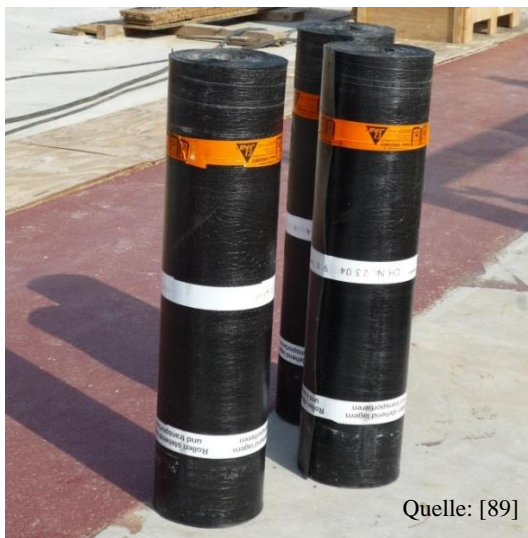


Abbildung 85: Schweißbahnen



Abbildung 86: Materialtransport mit Hochbaukran

Bitumenschweißbahn verkleben (A₄₃₅)

Die Bitumenschweißbahnen werden verklebt. Zwei Abdichter schweißen und einer verlegt Schweißbahnen so, dass gleich im Anschluss mit dem Verkleben begonnen werden kann.

- Geräte: ein Brenner (Wagen)

- Personal: zwei Abdichter

Auslegen Bitumenschweißbahn

Die Schweißbahnen werden ausgerollt (Abbildung 87) und mit einem Zollstock ausgerichtet (Abbildung 88).



Abbildung 87: Ausrollen der Schweißbahn



Abbildung 88: Ausrichten der Schweißbahn

Schweißwagen anschließen

Der Schweißwagen (Abbildung 89) wird mit einer Rolle bestückt und Gas angeschlossen.



Abbildung 89: Schweißwagen

Quelle: [89]



Abbildung 90: Schweißvorgang

Quelle: [89]

Verschweißen der Schweißbahn

Die Schweißbahnen werden mit Hilfe des Brenners verschweißt (Abbildung 90, Abbildung 91). Die Bahnen überlappen sich um mindestens 8 cm (Abbildung 92). Stöße werden versetzt angeordnet.



Abbildung 91: Verschweißen der Schweißbahn

Quelle: [89]



Abbildung 92: Überlappung der Schweißbahnen

Quelle: [89]

Rasselprobe - Prüfung der Abdichtung (A₄₄₀)

Für die Rasselprobe (Abbildung 93) kommt eine Stahlkette zum Einsatz.

- Geräte: Stahlkette
- Personal: ein Polier, ein Bauüberwacher, ein Abdichter

Die Stahlkette wird über die Abdichtung gezogen. An den Geräuschen, die die Kette macht, ist erkennbar, wo Hohlstellen sind. Im Bereich einer Hohlstelle klappert die Kette leiser.



Abbildung 93:Rasselprobe

Einbau der edelstahlkaschierten Schweißbahn (A₄₅₀)

Zwei Abdichter schweißen und einer verlegt Schweißbahnen so, dass gleich mit dem Verkleben begonnen werden kann.

- Geräte: ein Brenner (Wagen)
- Personal: zwei Abdichter

Auslegen der edelsthalikaschierten Schweißbahn

Die edelsthalikaschierte Schweißbahnen (Abbildung 95) werden ausgelegt (Abbildung 94). Die Bahnen werden ausgerollt und mit dem Zollstock ausgerichtet.



Abbildung 94: Auslegen der Schweißbahn

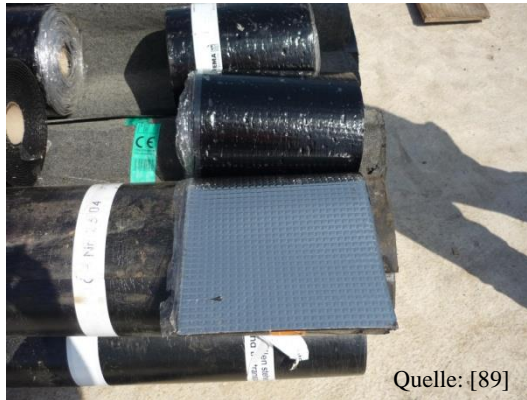


Abbildung 95: edelsthalikaschierte Schweißbahn

Verschweißen der edelsthalikaschierten Schweißbahn

Die Bahnen werden mit Schweißbrennern erwärmt und verklebt (Abbildung 96).



Abbildung 96: Verschweißen der Schweißbahn

Auslegen der Schutzlage

Die Bahnen (Abbildung 97) werden ausgerollt (Abbildung 98) und mit dem Zollstock ausgerichtet.



Abbildung 97: Schutzlage



Abbildung 98: Ausrollen der Schutzlage

Erhitzen des Bitumens

Das Bitumen (Abbildung 99) wird im Bitumenofen auf etwa 250 °C erhitzt (Abbildung 100).

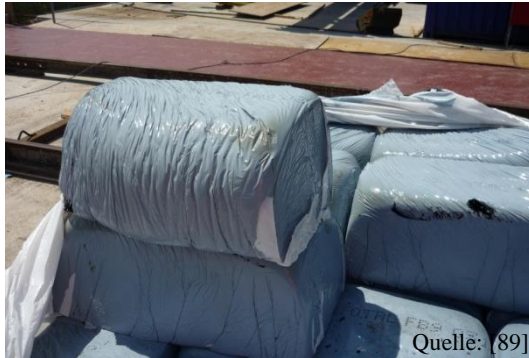


Abbildung 99: Bitumen



Abbildung 100: Erhitzung des Bitumens

Verkleben der Schutzlage

Die Schutzlage wird mit flüssigem Bitumen, welches mit Hilfe von Gießkanne und Besen aufgetragen wird, verklebt (Abbildung 101). Im Bereich der edelstahlkaschierten Schweißbahn wird die Schutzlage nicht verklebt, sondern nur darübergelegt.



Abbildung 101: Verkleben der Schutzlage

Schienen transportieren (A₂₀₀)

Die Montage der Kappenschalwagen beginnt mit dem Transport der Schienen.

- Geräte: ein Hochbaukran
- Personal: zwei Stahlbetonbauer, ein Kranfahrer

Schienen vormontieren (A₂₀₅)

Es werden die Schienenprofile verlegt, auf denen die Kappenschalwagen montiert und verschoben werden. Die Schienen und Verbindungsstücke werden in Einzelteilen angeliefert und mit Hilfe des Hochbaukrans auf das Lager (Überbau) transportiert.

- Personal: zwei Stahlbetonbauer

Schienen verlegen (A₂₁₀)

Die Schienen werden zusammen gebaut, eingemessen und ausgerichtet (Abbildung 102).

- Geräte: ein Hochbaukran
- Personal: vier Arbeiter, ein Kranfahrer



Abbildung 102: Montierte Gleise

Aufstellen des Unterwagens (A₂₂₅)

Der Unterwagen (Abbildung 103) des Schalwagens wird aufgebaut, auf den Schienen positioniert und gegen Wegrollen gesichert.

- Geräte: ein Teleskopstapler
- Personal: zwei Stahlbetonbauer, ein Teleskopstaplerfahrer



Abbildung 103: Unterwagen

Unterwagen – Balastierung (A₂₃₅)

Der Ballast wird auf den Unterwagen aufgesetzt (Abbildung 104, Abbildung 105). Die Betonplatten müssen gleichmäßig ausgerichtet werden.

- Geräte: ein Teleskopstapler
- Personal: ein Teleskopstaplerfahrer, drei Stahlbetonbauer



Abbildung 104: Umlagerung der Ballastierung



Abbildung 105: Auflegen der Ballastierung

KSW-Ausleger – Vormontage (A₂₄₅)

Der Ausleger wird aus Einzelteilen zusammengebaut (Abbildung 106, Abbildung 107).

- Personal: zwei Stahlbetonbauer



Abbildung 106: Montage der Ausleger



Abbildung 107: Montierter Ausleger

Ausleger an Unterwagen - Montage (A₂₅₀)

Der Ausleger wird am Unterwagen befestigt.

- Geräte: ein Hochbaukran
- Personal: ein Kranfahrer, 3 Stahlbetonbauer

Hängereinheiten – Vormontage (A₂₆₅)

Es folgt die Vormontage der Hängereinheit mit Bühne (Abbildung 108).

- Geräte: ein Hochbaukran
- Personal: ein Kranfahrer, 3 Stahlbetonbauer



Abbildung 108: Vormontage der Hängeeinheit

Hängeeinheiten an KSW - Montage (A₂₇₀)

Es wird die Hängeeinheit (Abbildung 109) einschließlich der Schalung an den Schalungswagen montiert (Abbildung 110).

- Geräte: ein Hochbaukran
- Personal: ein Kranfahrer, drei Stahlbetonbauer



Abbildung 109: montagefertige Hängeeinheit



Abbildung 110: montierte Hängeeinheit

Ausrichtung KSW (A₇₀₀)

Der Kappenschalwagen wird ausgerichtet (Abbildung 111).

- Personal: drei Stahlbetonbauer (inkl. Vorarbeiter)



Abbildung 111: Ausrichten des KSW

Bewehrungsarbeiten

Bewehrung zum Fertigungsbock transportieren

Die Bewehrung (Abbildung 113) wird mittels Hochbaukran vom LKW auf den Überbau gehoben (Abbildung 112).

- Geräte: ein Hochbaukran
- Personal: ein Eisenflechter, ein Kranführer



Abbildung 112: Transport der Bewehrung



Abbildung 113: Bewehrung

Fertigungsbocke - Montage

Die Montage der Fertigungsbocke (Abbildung 114) für die Bewehrungsmontage erfolgt durch zwei Eisenflechter.

- Personal: zwei Eisenflechter



Abbildung 114: Fertigungsbock

Bewehrungskörbe vorflechten

Die Bewehrungskörbe (Abbildung 116) für die Kappen werden vorgeflochten (Abbildung 115).

- Personal: zwei Eisenflechter



Abbildung 115: Flechten der Bewehrungskörbe



Abbildung 116: Bewehrungskorb

Bewehrung - Einheben und positionieren

Die Bewehrungskörbe werden zum Einbauort transportiert und positioniert (Abbildung 117). (Bei dieser Brücke kann nicht der Kran zum Einsatz kommen, da die Kappenschalwagen bereits positioniert sind und somit ein Einheben von oben nicht möglich ist.)

- Personal: fünf Stahlbetonbauer, drei Eisenflechter



Abbildung 117: eingehobene Bewehrung

Bewehrung - einbauen

Die Bewehrung wird an den Überbau angeschlossen (Abbildung 118) und die Bewehrungskörbe werden miteinander verbunden. Die Abstandhalter (Abbildung 119) werden angebracht.

- Personal: zwei Eisenflechter



Abbildung 118: Einbau Bewehrung



Abbildung 119: Einbau Abstandhalter

Einbauteile - Montage

Es folgt die Montage der Anker für die Lärmschutzwand und der Endloskette für die Leitplanke. Die Endloskette wird mit den Stellschrauben auf die richtige Höhe gebracht und anschließend an die Bewehrung der Kappe angeschweißt. Die einzelnen Endloskettenelemente werden untereinander verschraubt.

- Personal: drei Stahlbetonbauer



Abbildung 120: Anker Lärmschutzwand



Abbildung 121: Einbau Anker

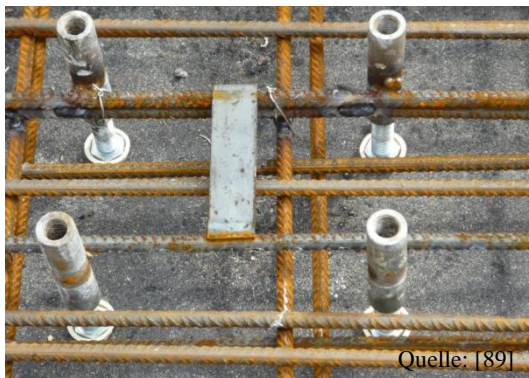


Abbildung 122: Stellschrauben



Abbildung 123: Einbau Stellschrauben

Zuschalen der Kappe

Schrammbordteile auf Überbau transportieren

Die Schrammborde werden vom LKW auf den Überbau transportiert.

- Personal: ein Stahlbetonbauer, ein Kranführer
- Geräte: ein Hochbaukran

Schrammborde vormontieren und säubern

Die Schrammborde werden vormontiert (Abbildung 124) und gesäubert (Abbildung 125).

- Personal: ein Stahlbetonbauer



Abbildung 124: Vormontage Schrammborde



Abbildung 125: vormontierte Schrammborde

Einölen der Schrammborde

Vor der Montage werden die Schrammborde eingeölt (Abbildung 126).

- Personal: ein Stahlbetonbauer



Abbildung 126: Einölen der Schrammborde

Schrammbord - Montage

Die Ausrichtung der Schrammborde erfolgt grob mit Wasserwaage und Zollstock und später exakt mit einem Nivelliergerät. Die Höhe wird mit Stellschrauben (Abbildung 127) fixiert. Anschließend wird das Schrammbord mit Holzkeilen befestigt (Abbildung 128). Abschließend wird mit Bauschaum abgedichtet.

- Personal: drei Stahlbetonbauer

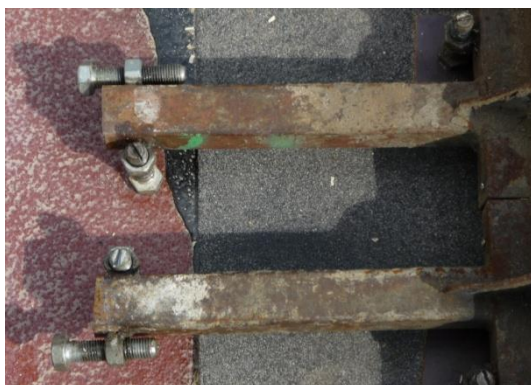


Abbildung 127: Stellschrauben



Abbildung 128: Einbringen der Keile

Zuschalen

Schließlich folgt das Zuschalen der Kappenseiten mit Holzleisten, -keilen sowie Bauschaum (Abbildung 129).

- Personal: ein Stahlbetonbauer



Abbildung 129: Randschalung

Betonieren

Betonpumpe aufbauen

Der Betoniervorgang beginnt mit dem Aufbau der Betonpumpe (Abbildung 130).

- Personal: ein Stahlbetonbauer



Abbildung 130: Betonpumpe

Betonanlieferungen

Das Betonfahrzeug befördert den Beton in die Betonpumpe (Abbildung 131).

- Personal: ein Betonlieferant

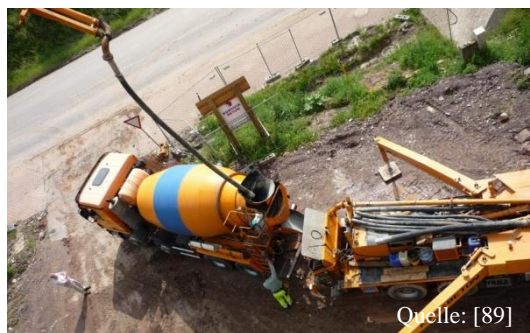


Abbildung 131: Betonlieferung

Prüfung des Betons

Bei jeder Betonlieferung müssen Luftporenprüfung, Ausbreitmaß und Temperatur geprüft werden. Es wird ein Betonwürfel angefertigt.

- Personal: externer Betonprüfer

Betonieren der Außenkappe

Der Beton wird mit der Betonpumpe und dem Schlauch zu den Kappen befördert (Abbildung 132). Dort wird der Beton mit der Rüttelflasche verteilt (Abbildung 133).

- Geräte: Betonpumpe, Rüttelflasche, Rüttelbohle
- Personal: sieben Stahlbetonbauer, ein Betonpumpenfahrer



Abbildung 132: Betonieren



Abbildung 133: Betonverteilung

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung umfasst das Glätten (Abbildung 134) und die Abdeckung mit einer Folie. Es wird ein Besenstrich gezogen (Abbildung 135), um die Betonschlämme zu entfernen. Der Beton wird mit Folie abgedeckt, um ein vorzeitiges Austrocknen zu verhindern.

- Personal: vier Stahlbetonbauer



Abbildung 134: Glätten der Betonoberfläche



Abbildung 135: Besenstrich

Umsetzung Kappenschalwagen

Begonnen wird mit der Absenkung des Kappenschalwagens (Abbildung 136) und somit der Entfernung der Schalung. Das erfolgt durch ein Drehen an den Spindeln. Anschließend werden Betonreste abgeklopft (Abbildung 137). Dann wird der Kappenschalwagen mit dem Teleskopstapler nach Norden bis zum Ende der Schienen gezogen (Abbildung 138, Abbildung 139). Es folgen der Abbau und Transport der Schienen zum nördlichen Ende der Schienen (Abbildung 140, Abbildung 141).

- Geräte: ein Teleskopstapler
- Personal: zwei Stahlbetonbauer, ein Teleskopstaplerfahrer



Abbildung 136: Absenken KSW



Abbildung 137: Freiklopfen KSW



Abbildung 138: Ziehen der Wagen



Abbildung 140: Umlagerung Schienen



Abbildung 139: Vergezogene Wagen



Abbildung 141: Ablassen der Schienen

Anhang 2 - EPK

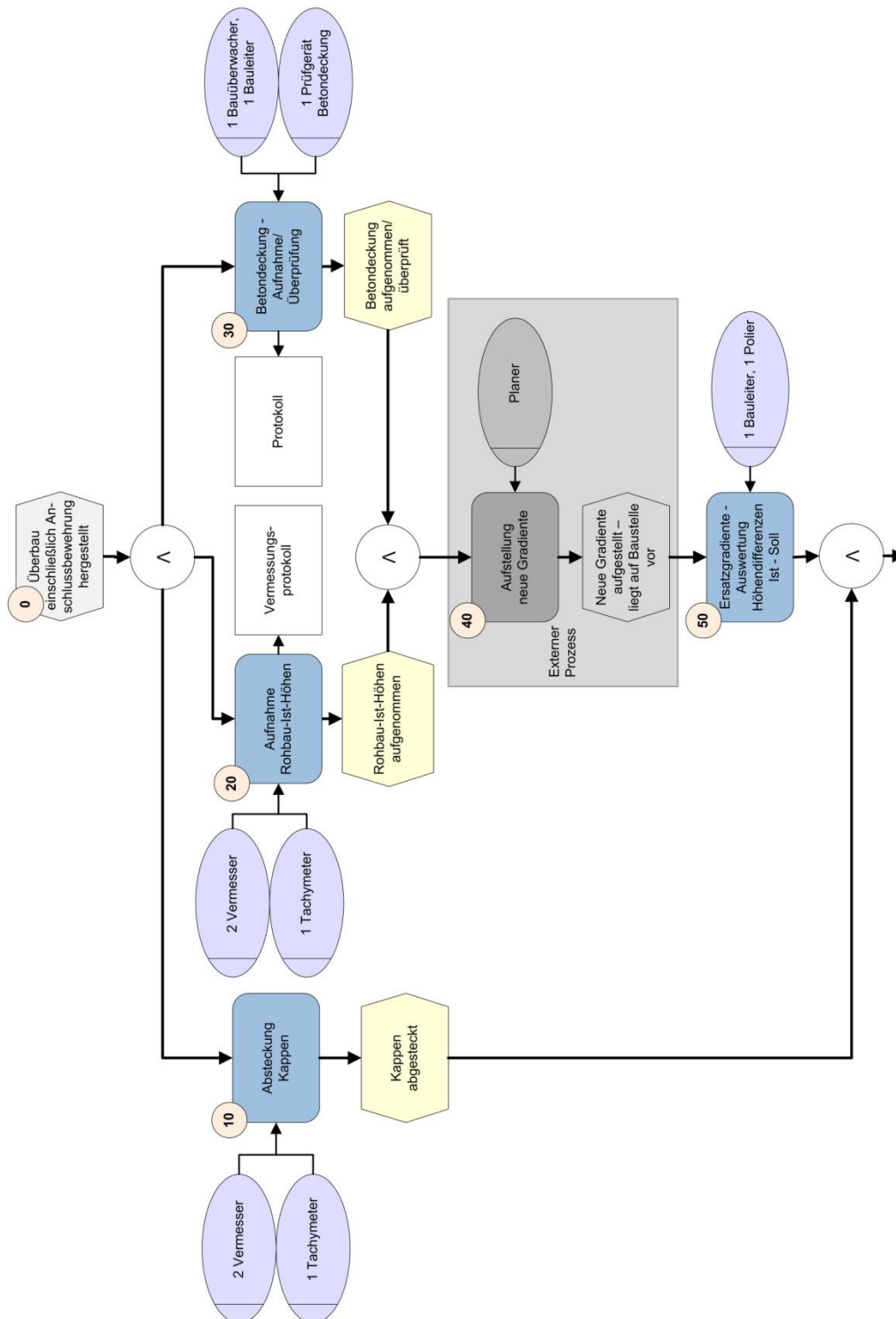


Abbildung 142: EPK Brückenkappe Teil 1

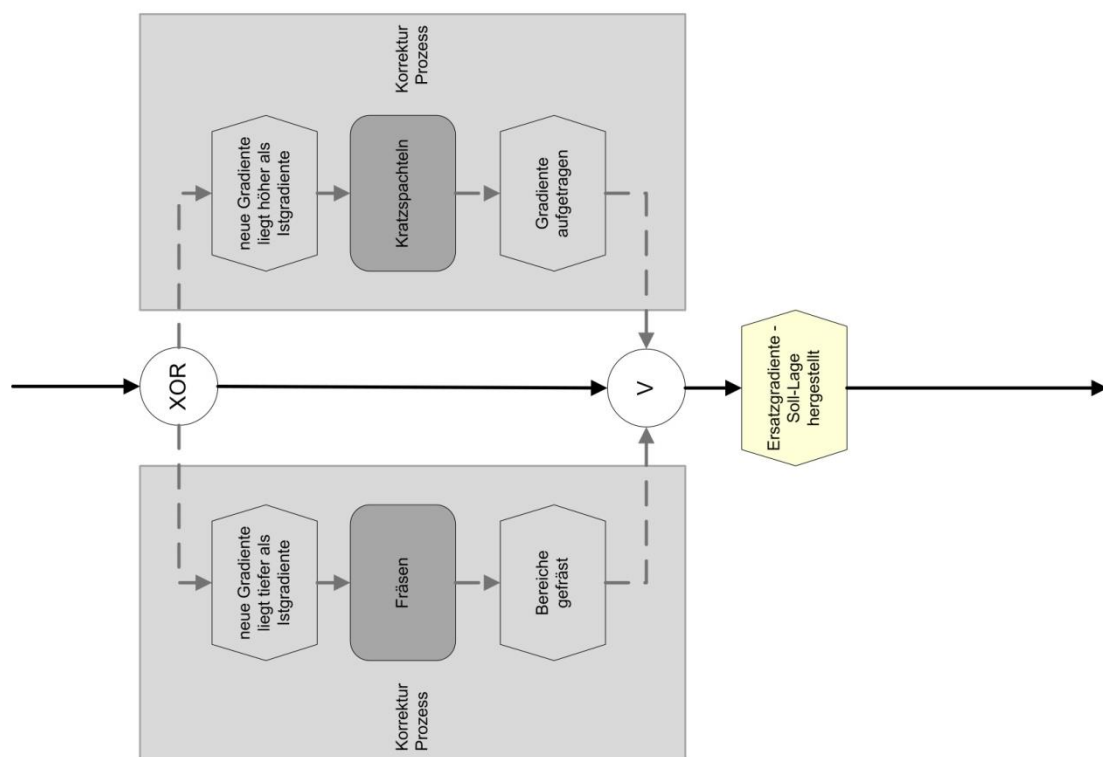


Abbildung 143: EPK Brückenkappe Teil 2

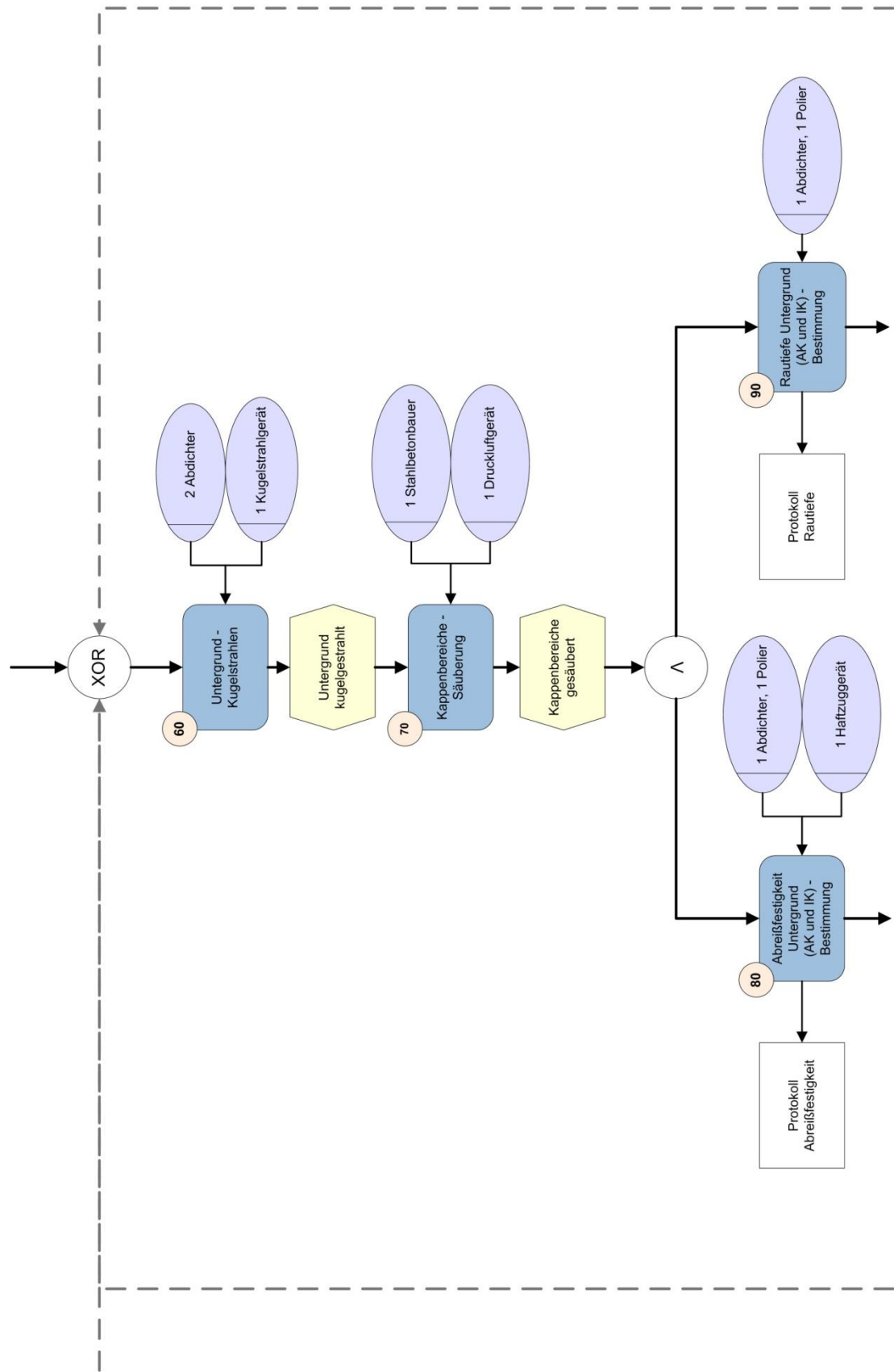


Abbildung 144: EPK Brückenkappe Teil 3

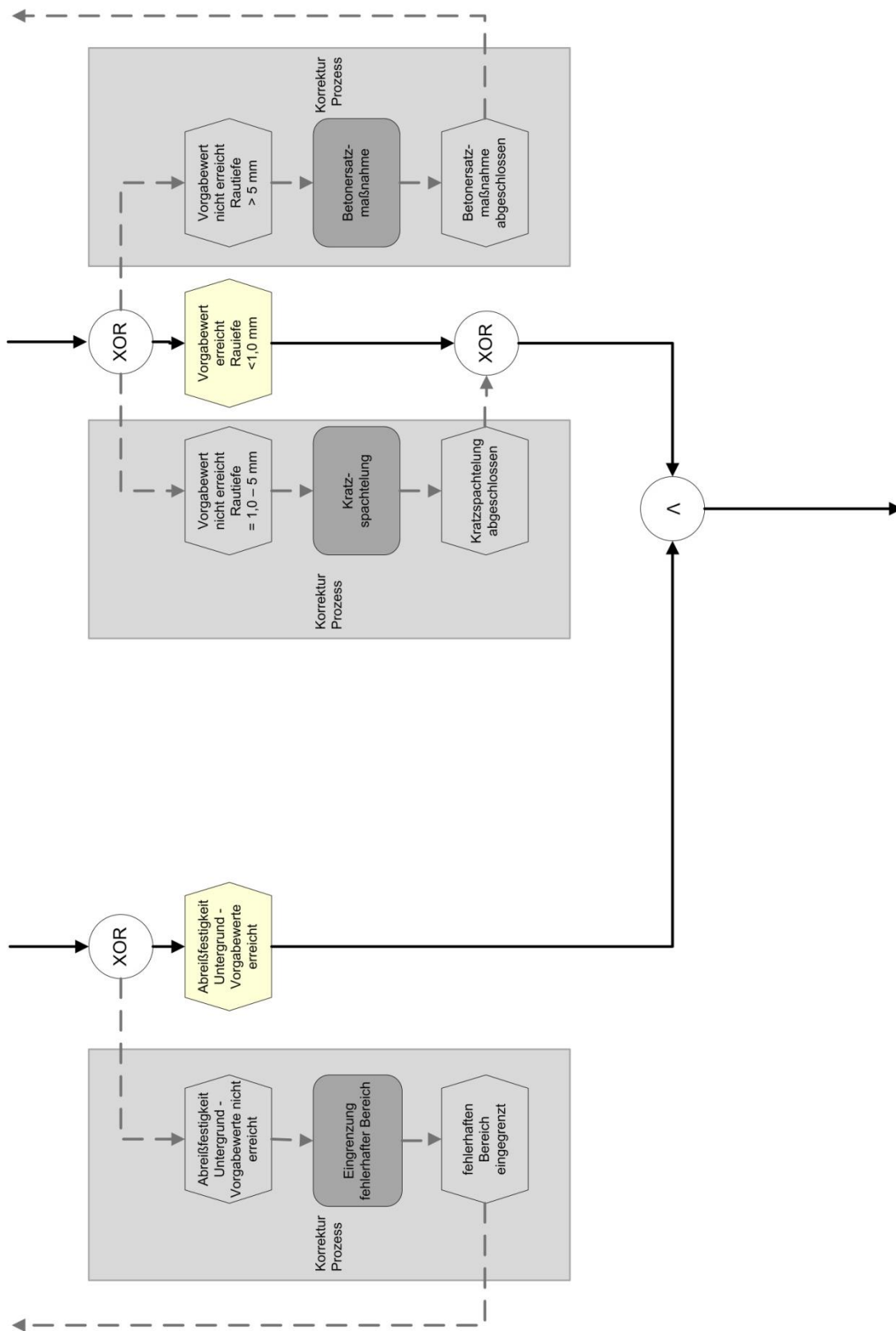


Abbildung 145: EPK Brückenkappe Teil 4

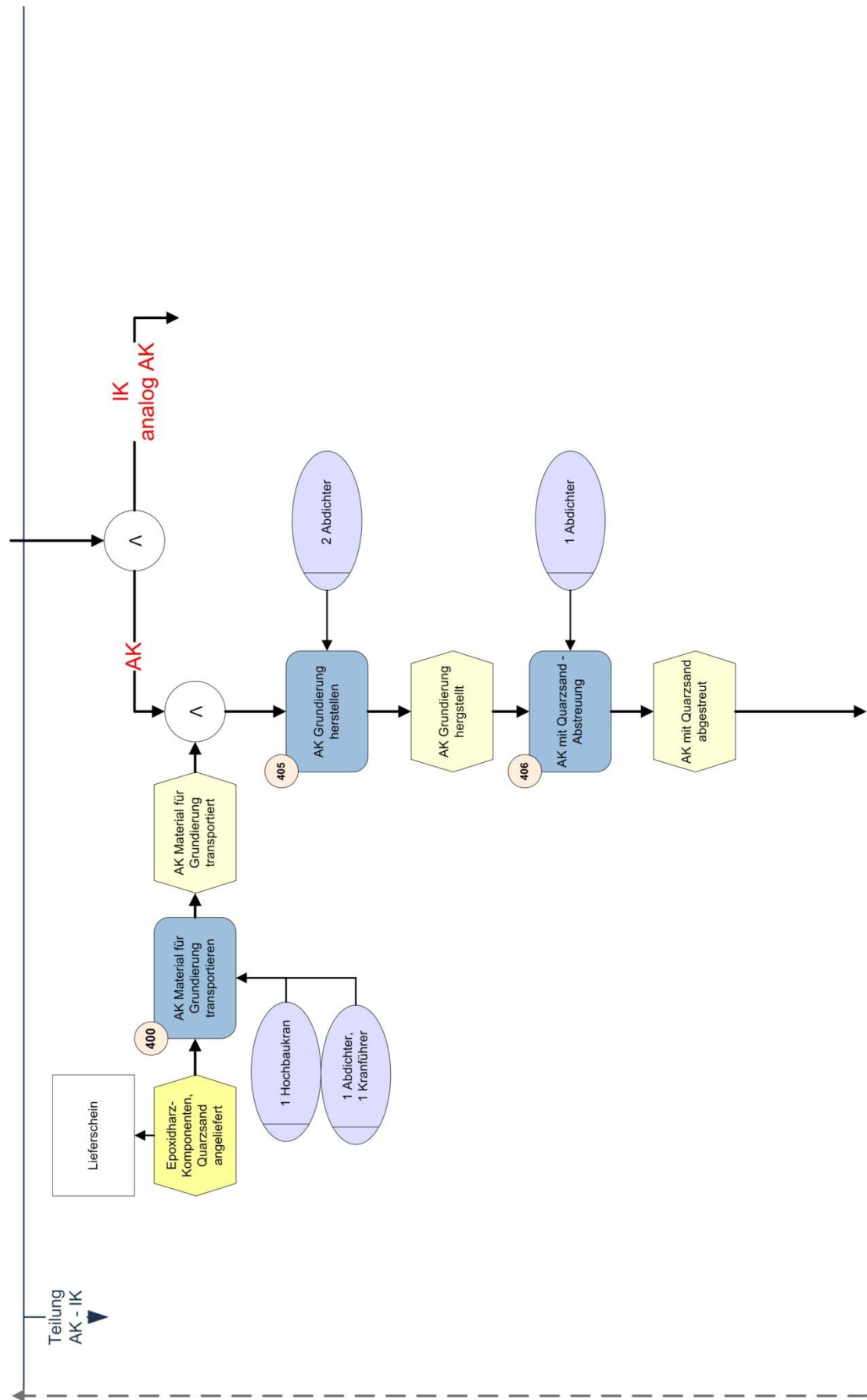


Abbildung 146: EPK Brückenkappe Teil 5

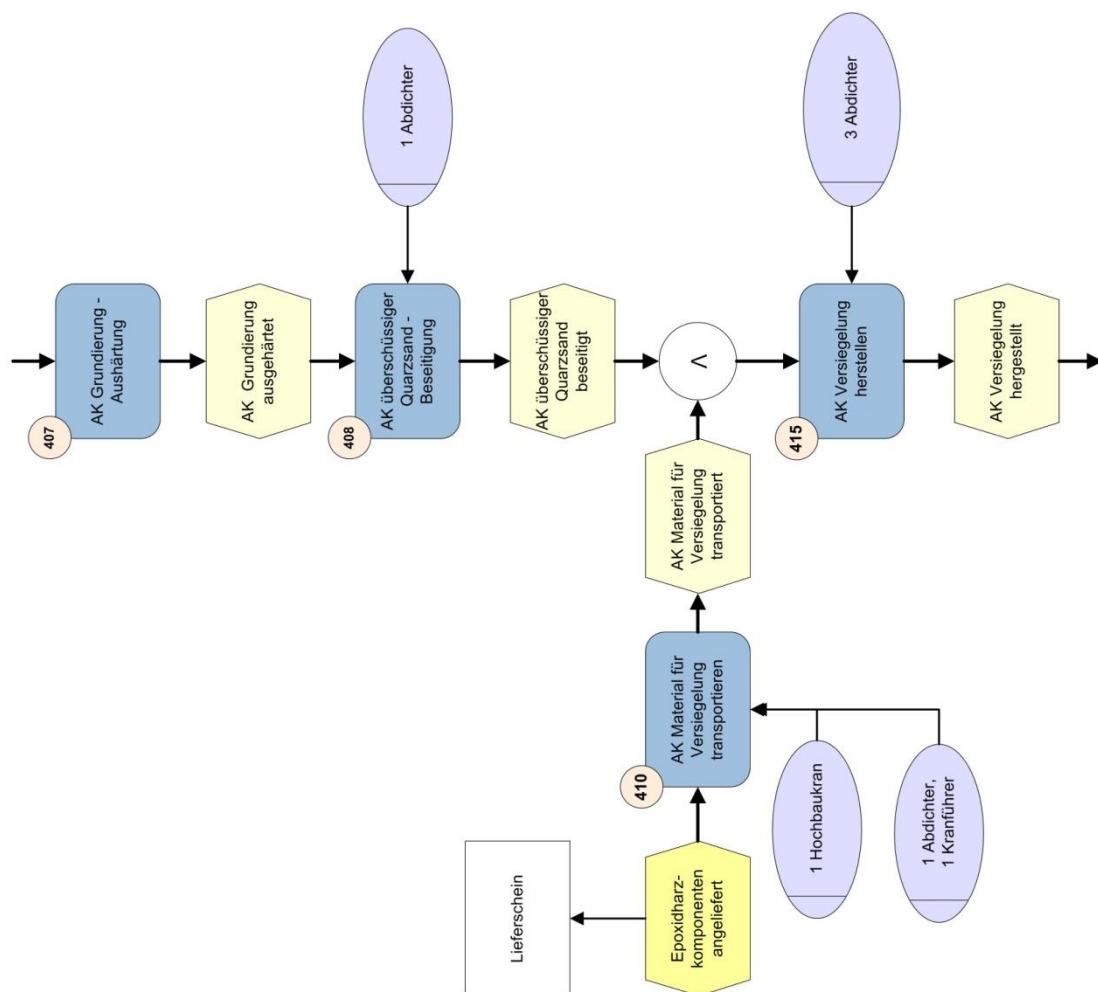


Abbildung 147: EPK Brückenkappe Teil 6

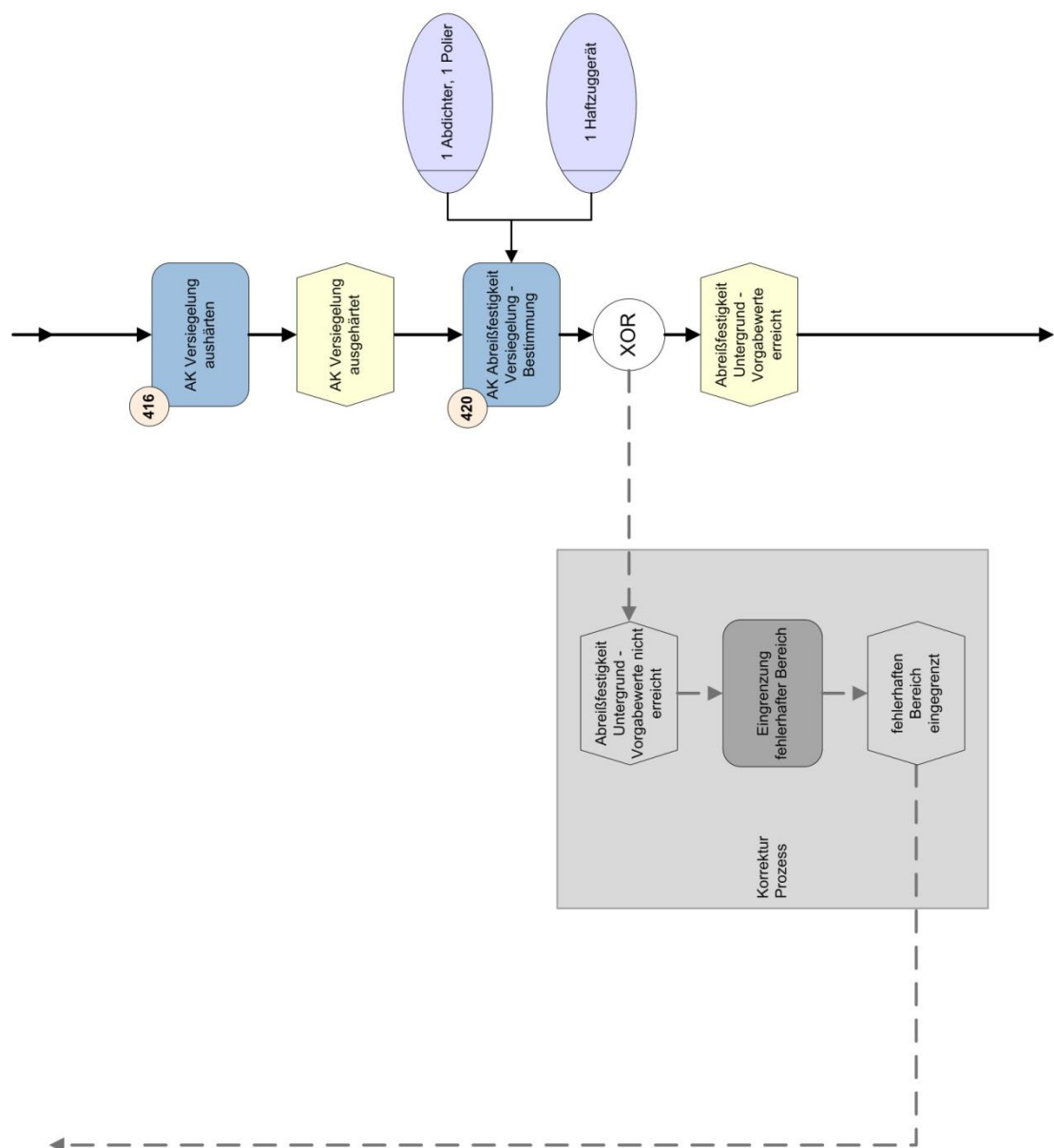


Abbildung 148: EPK Brückenkappe Teil 7

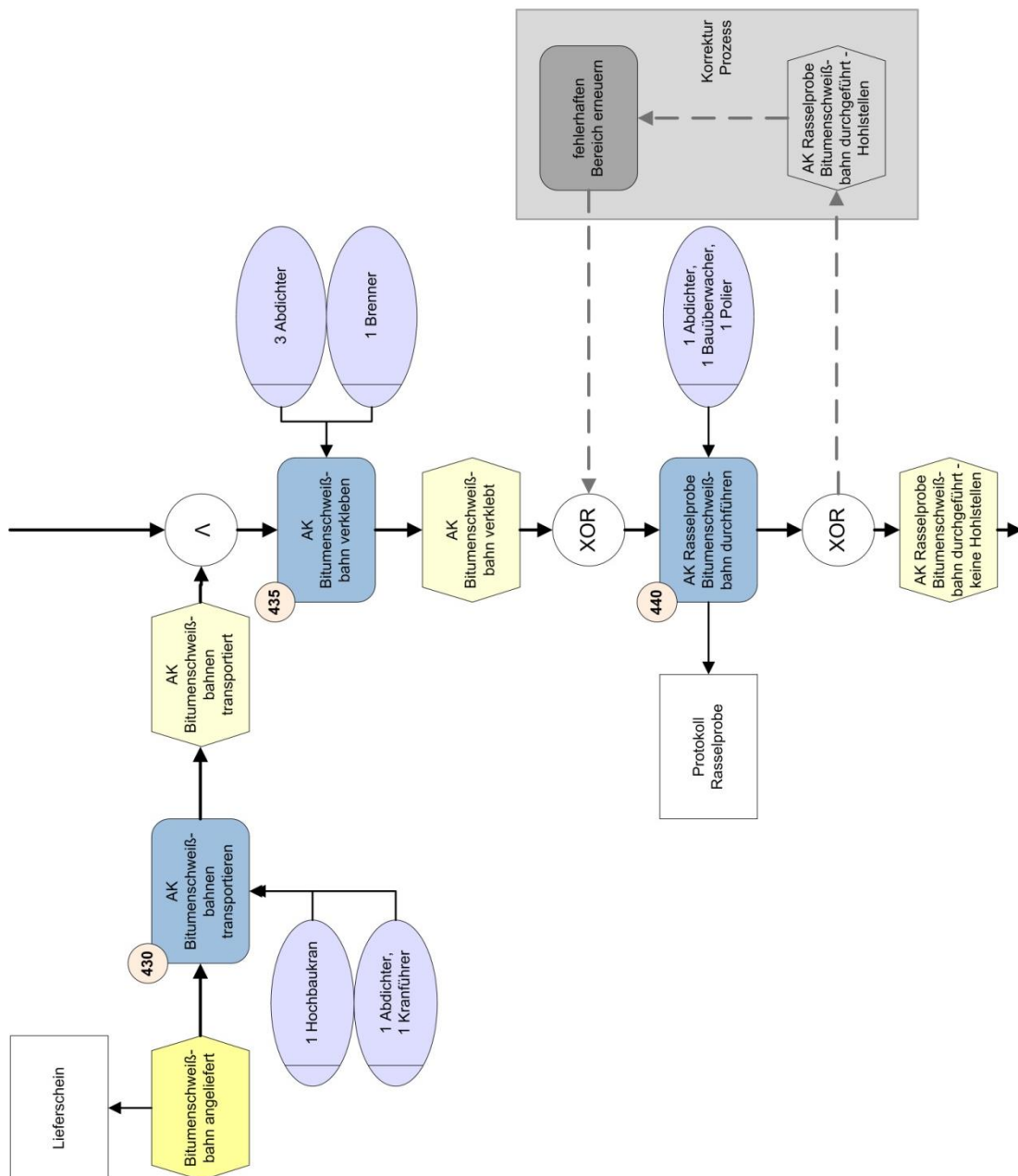


Abbildung 149: EPK Brückenkappe Teil 8

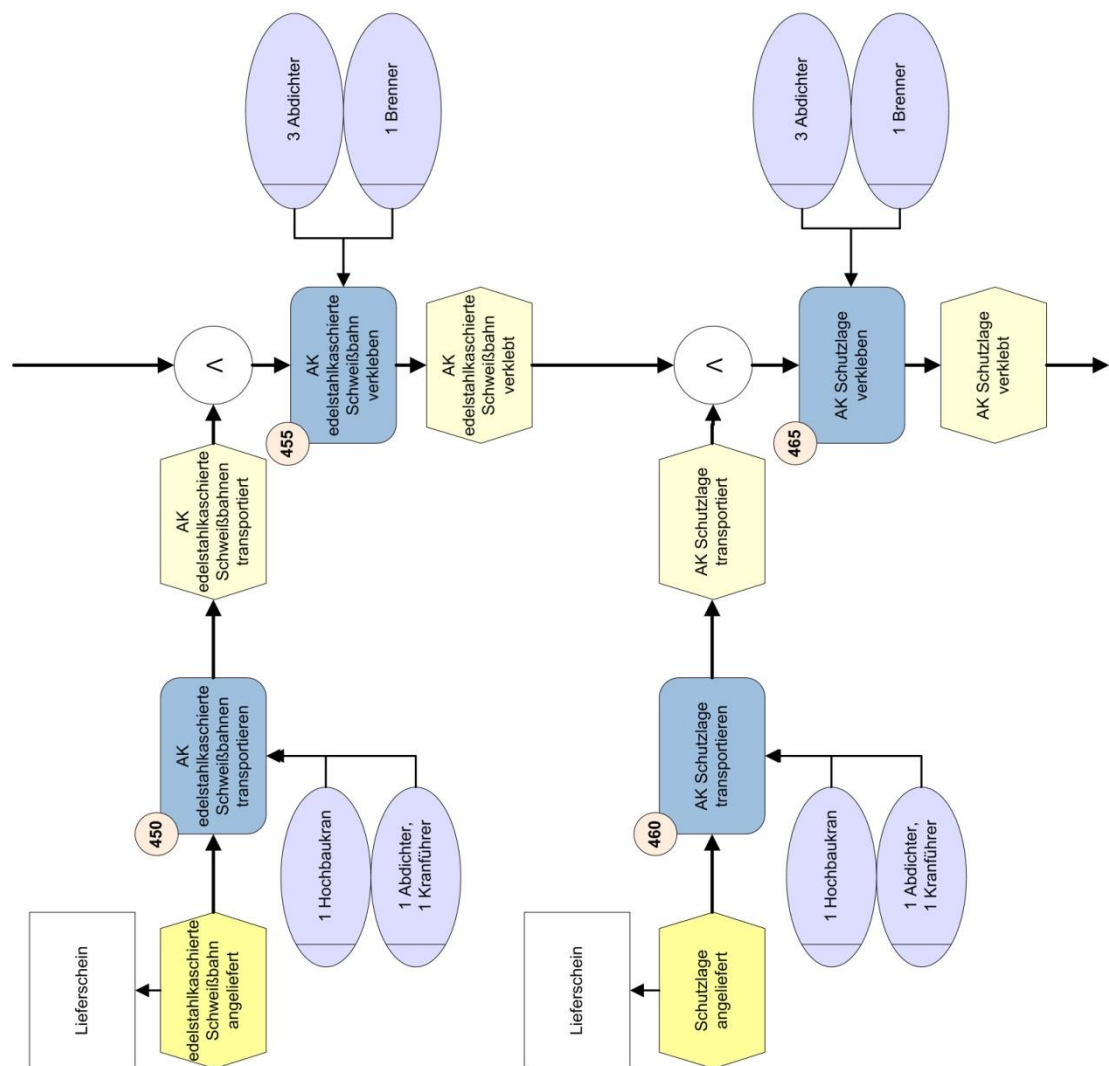


Abbildung 150: EPK Brückenkappe Teil 9

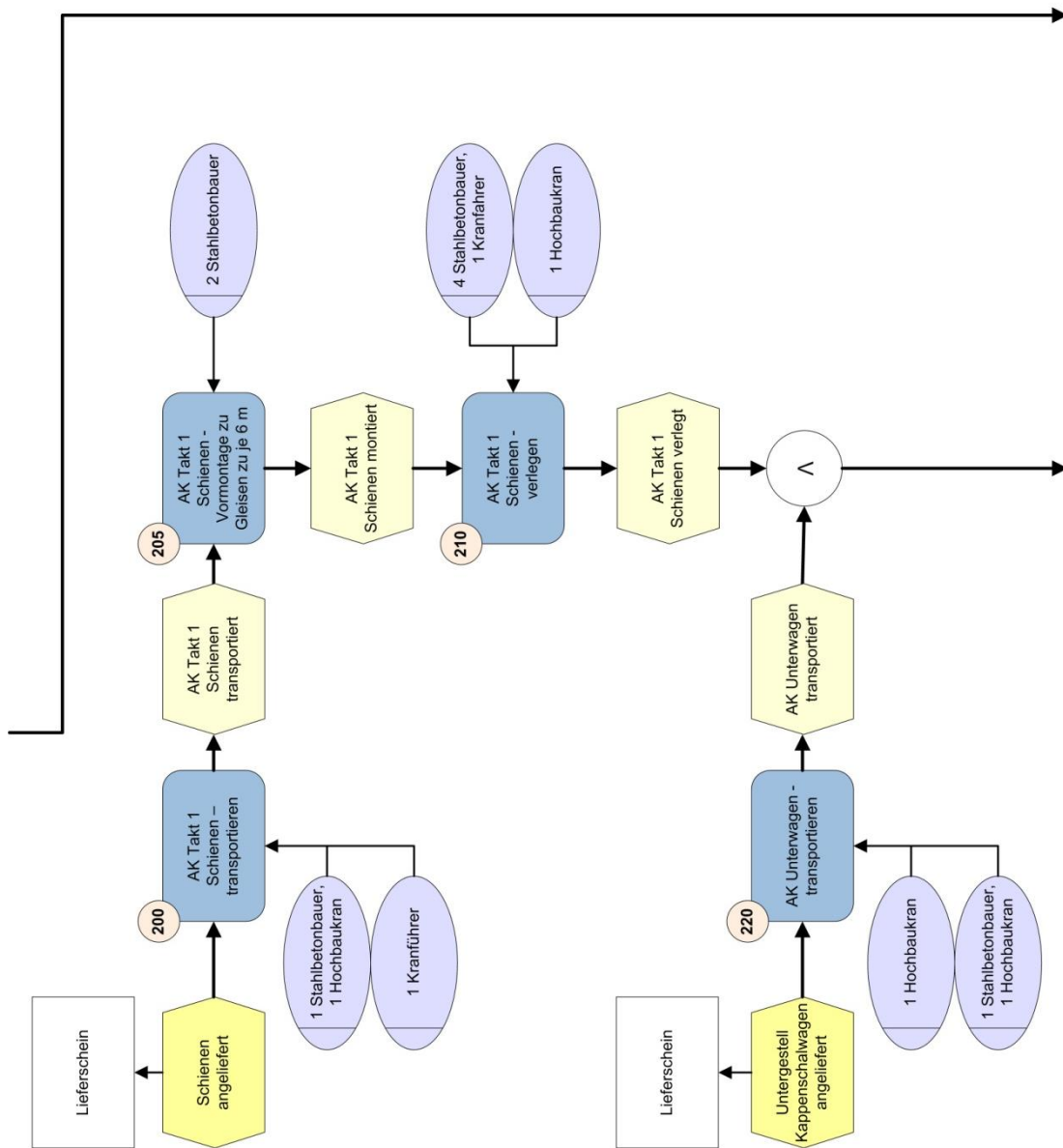


Abbildung 151: EPK Brückenkappe Teil 10

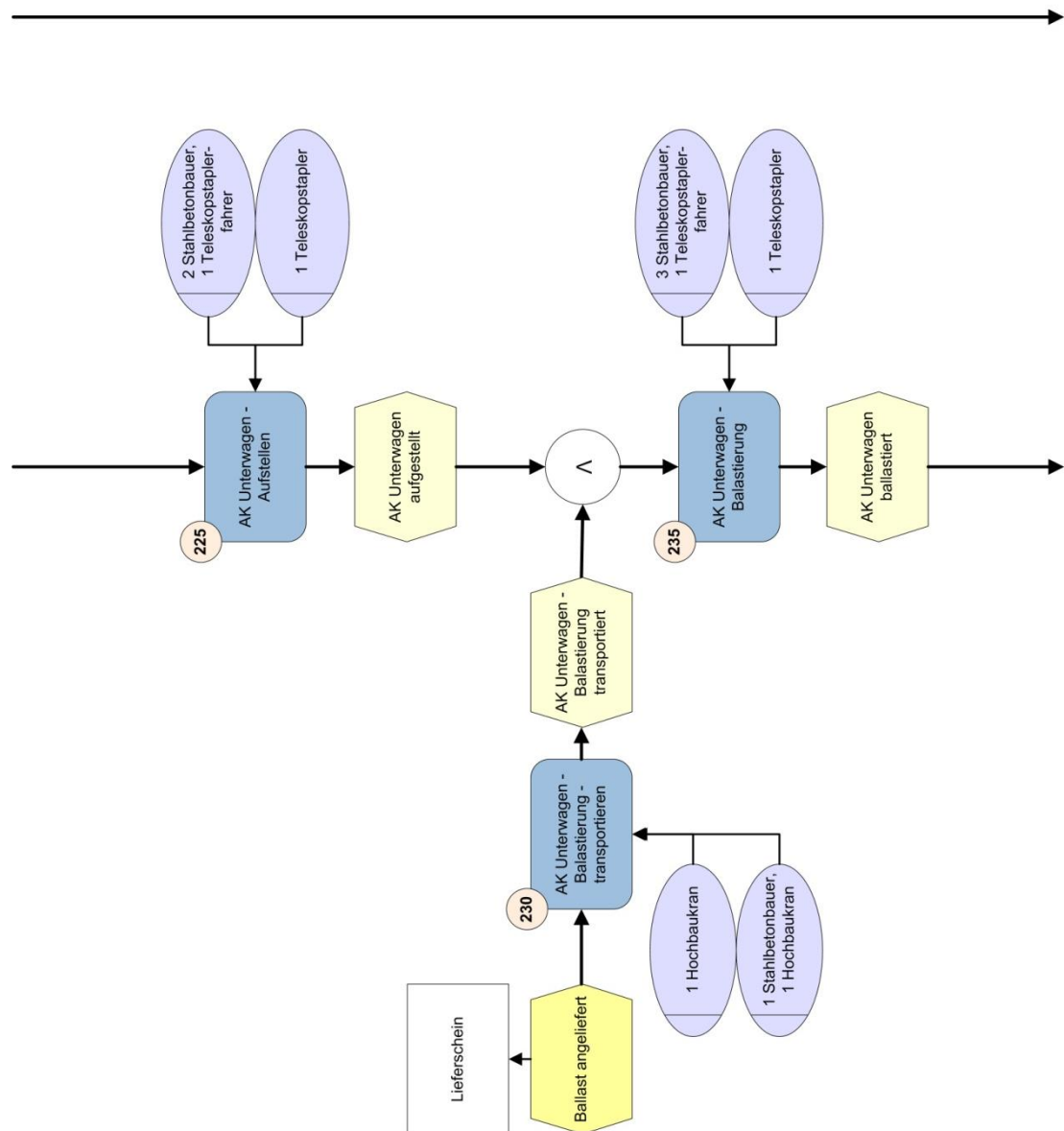


Abbildung 152: EPK Brückenkappe Teil 11

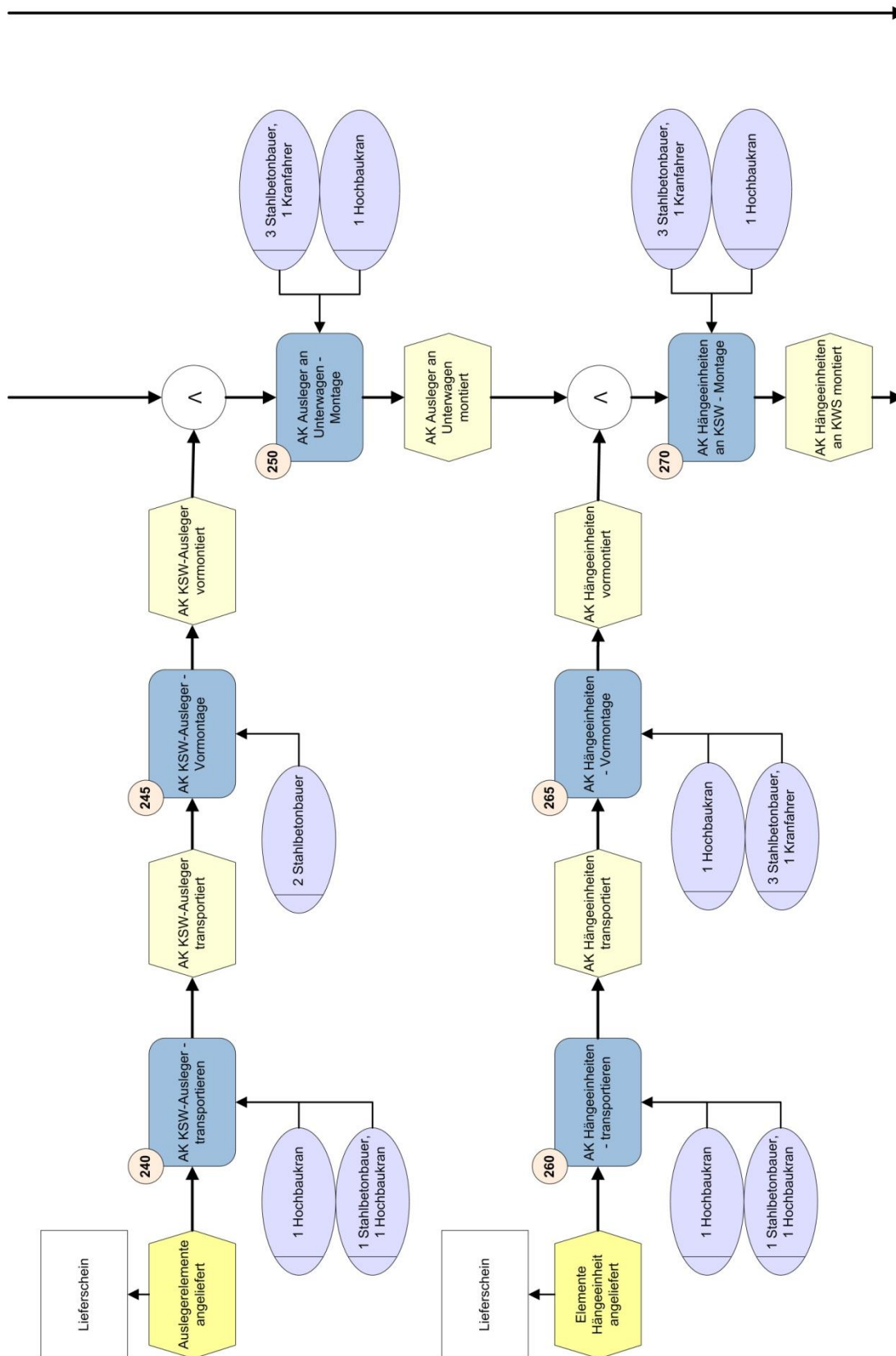


Abbildung 153: EPK Brückenkappe Teil 12

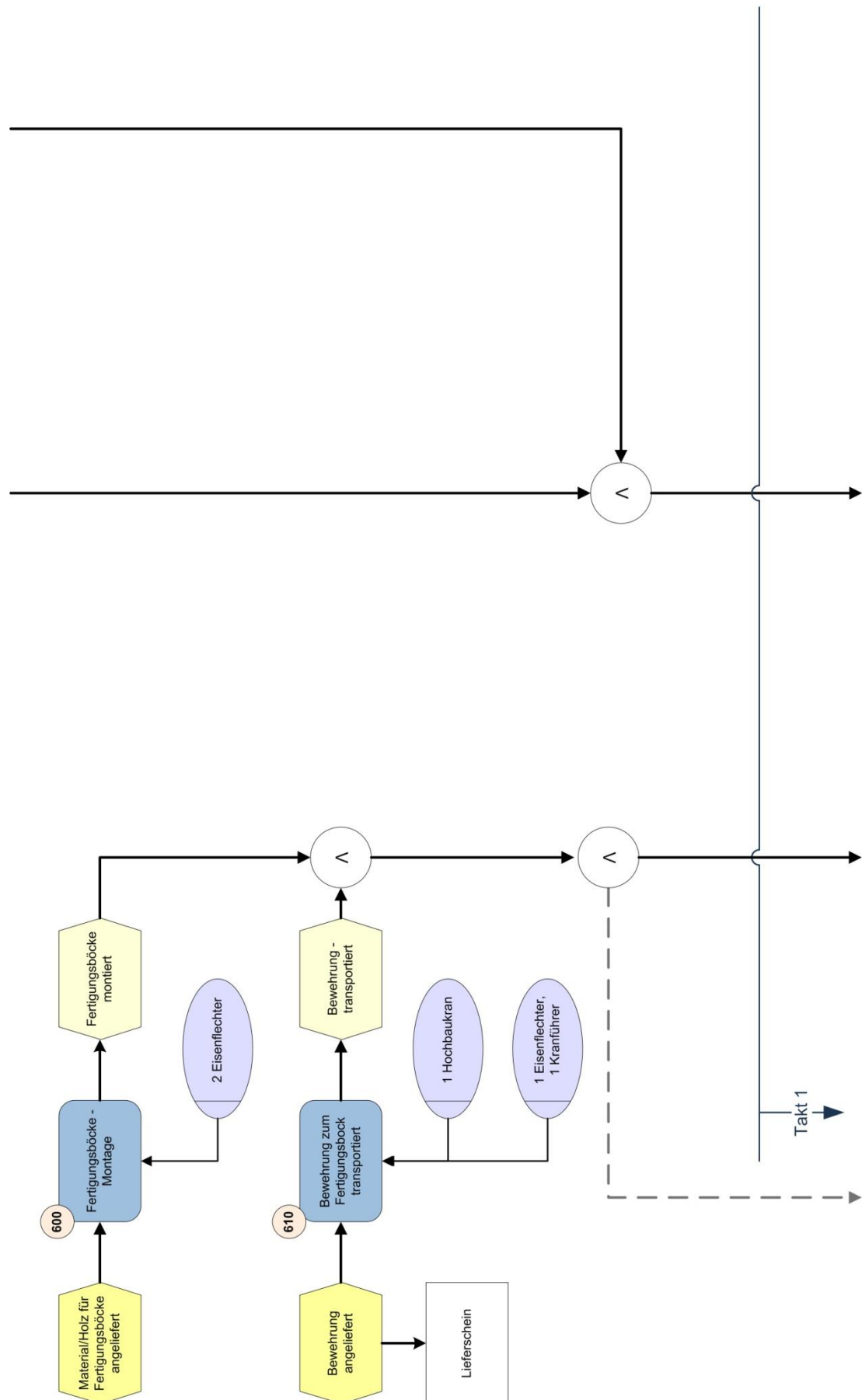


Abbildung 154: EPK Brückenkappe Teil 13

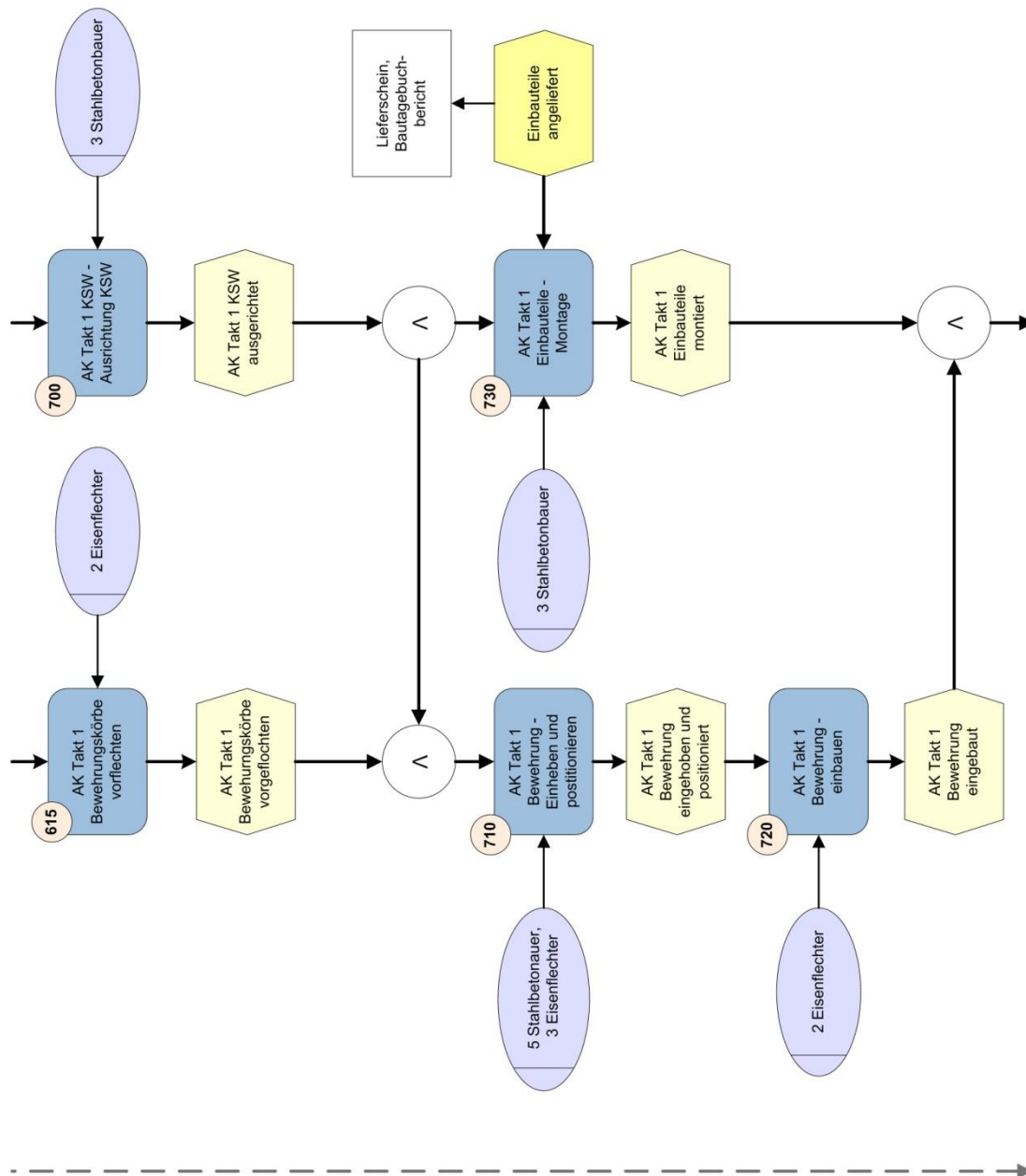


Abbildung 155: EPK Brückenkappe Teil 14

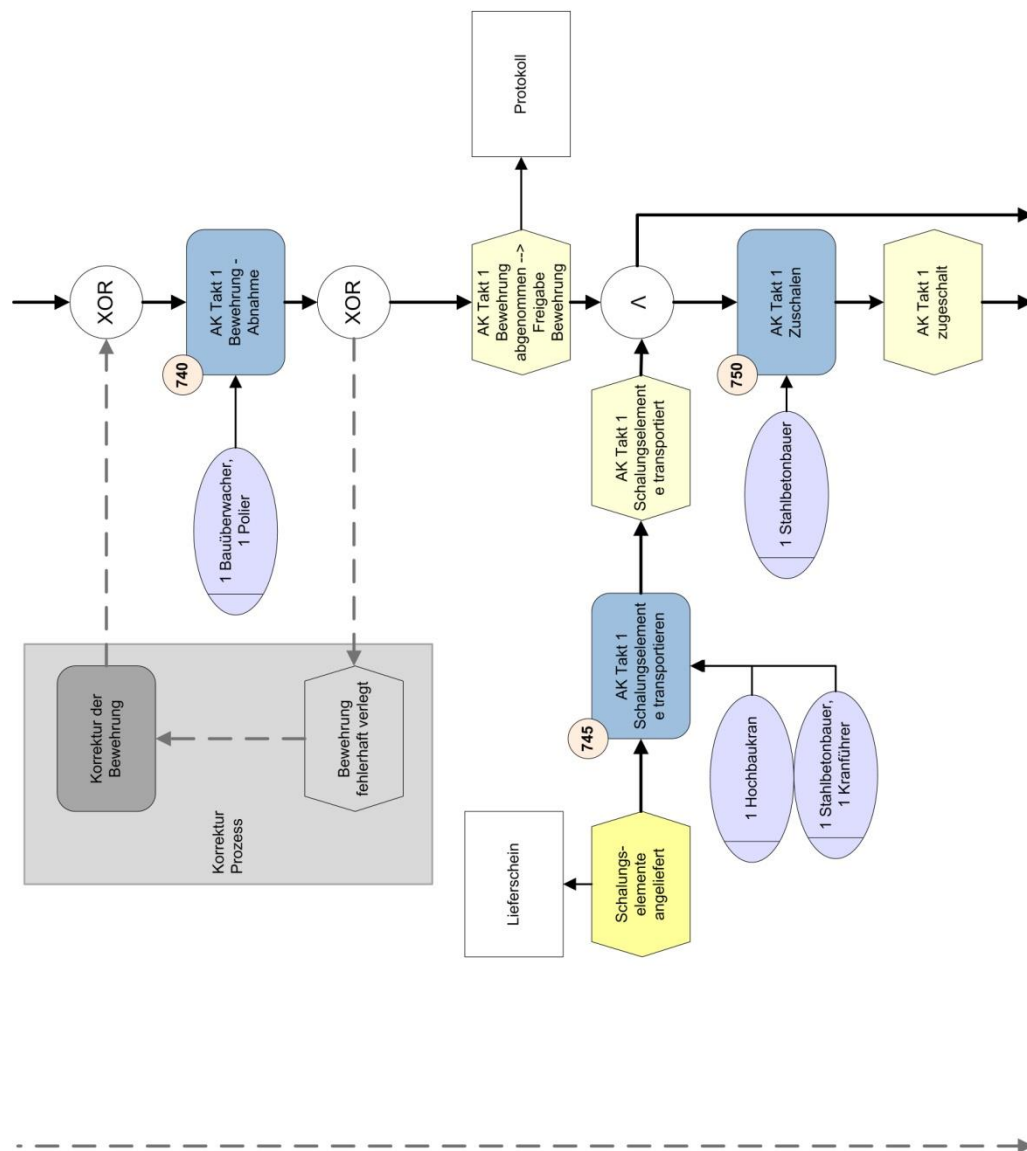


Abbildung 156: EPK Brückenkappe Teil 15

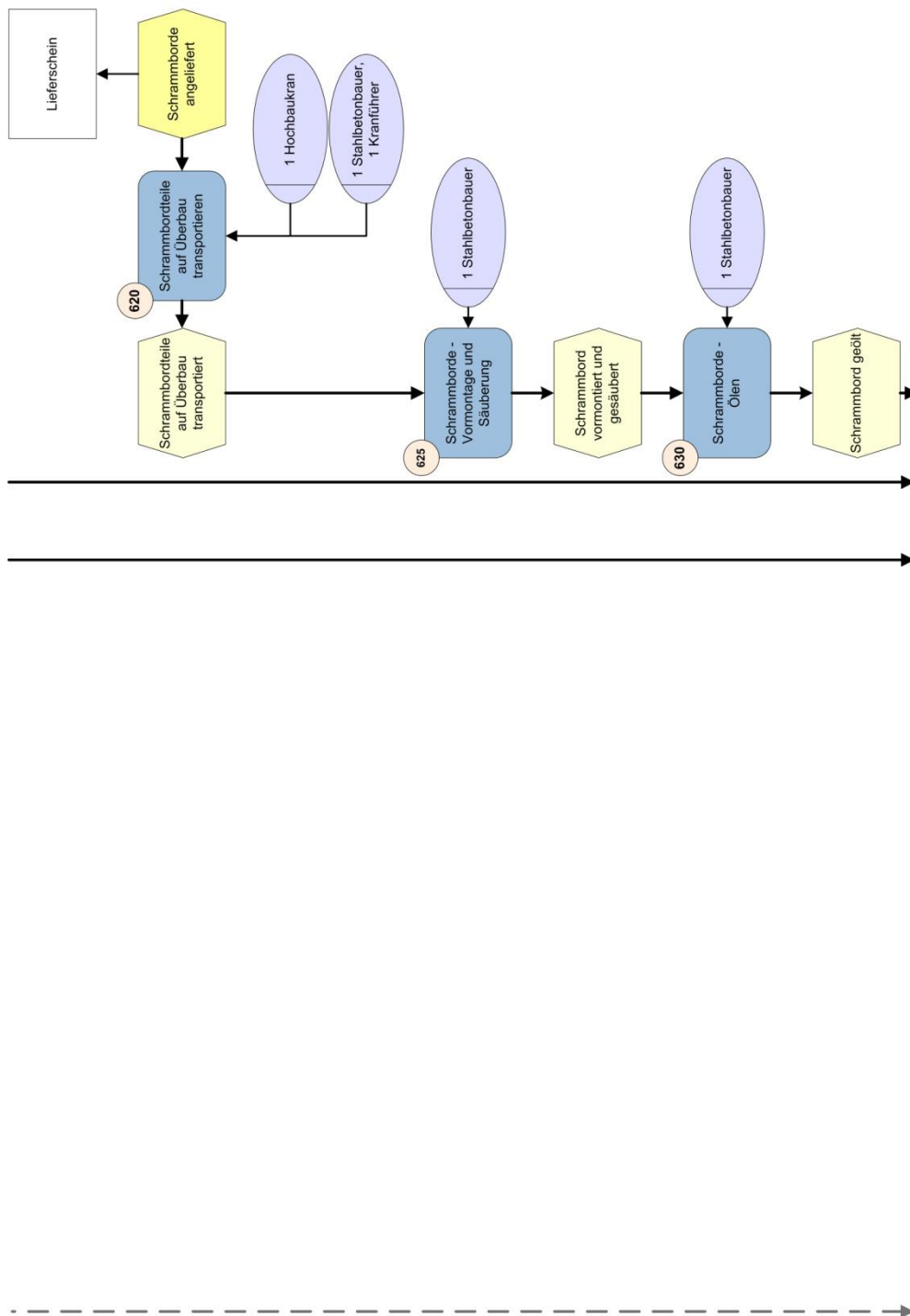


Abbildung 157: EPK Brückenkappe Teil 16

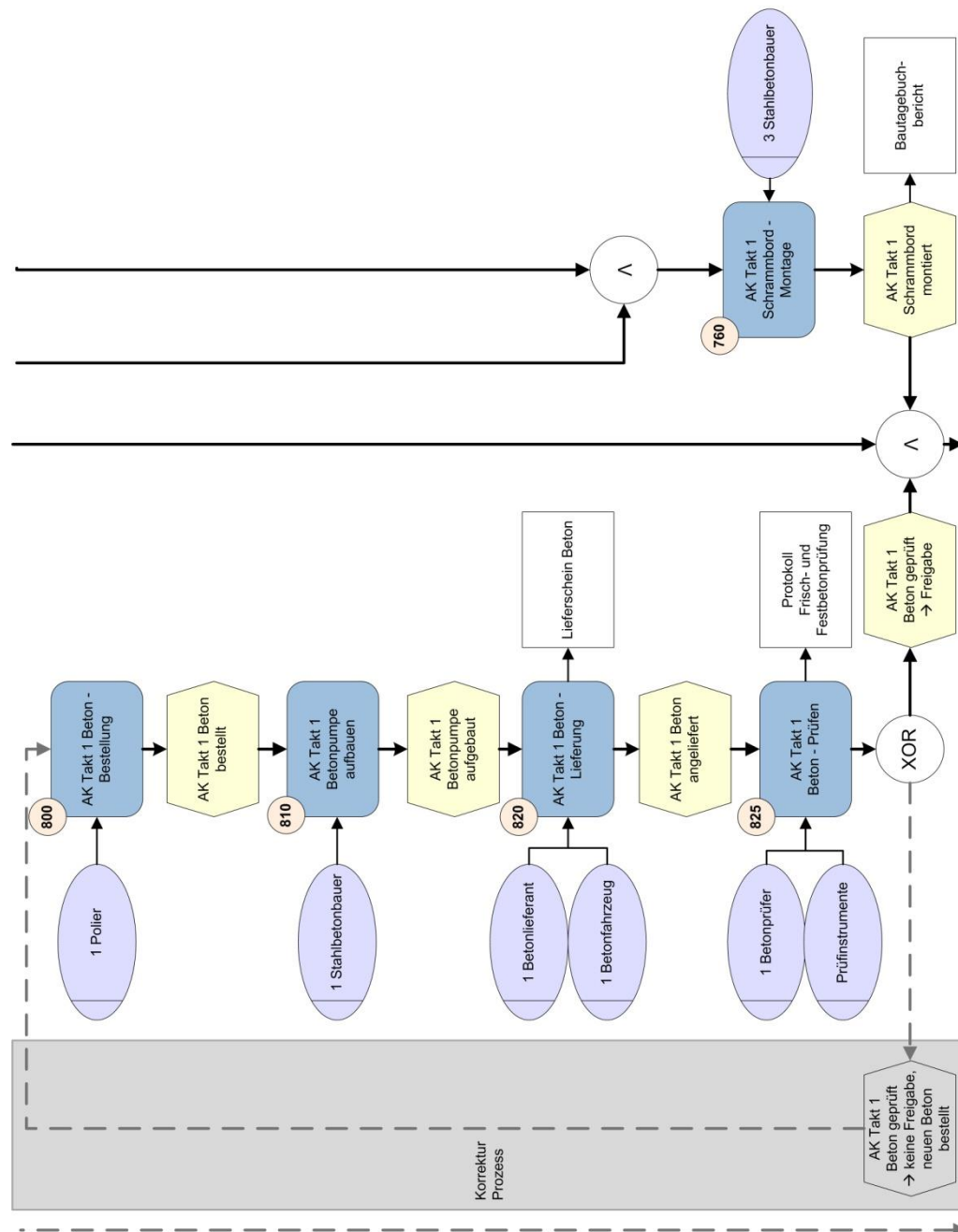


Abbildung 158: EPK Brückenkappe Teil 17

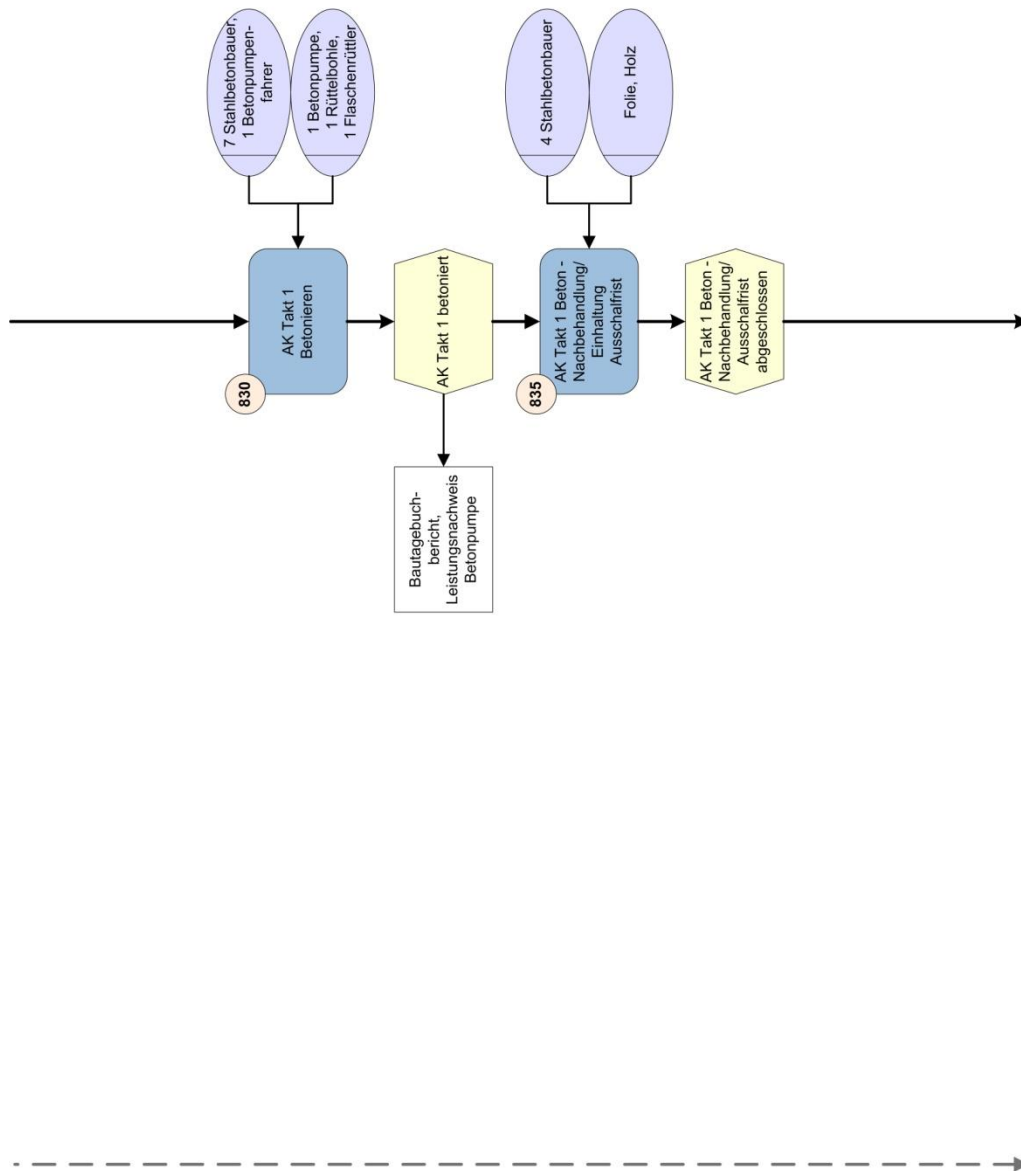


Abbildung 159: EPK Brückenkappe Teil 18

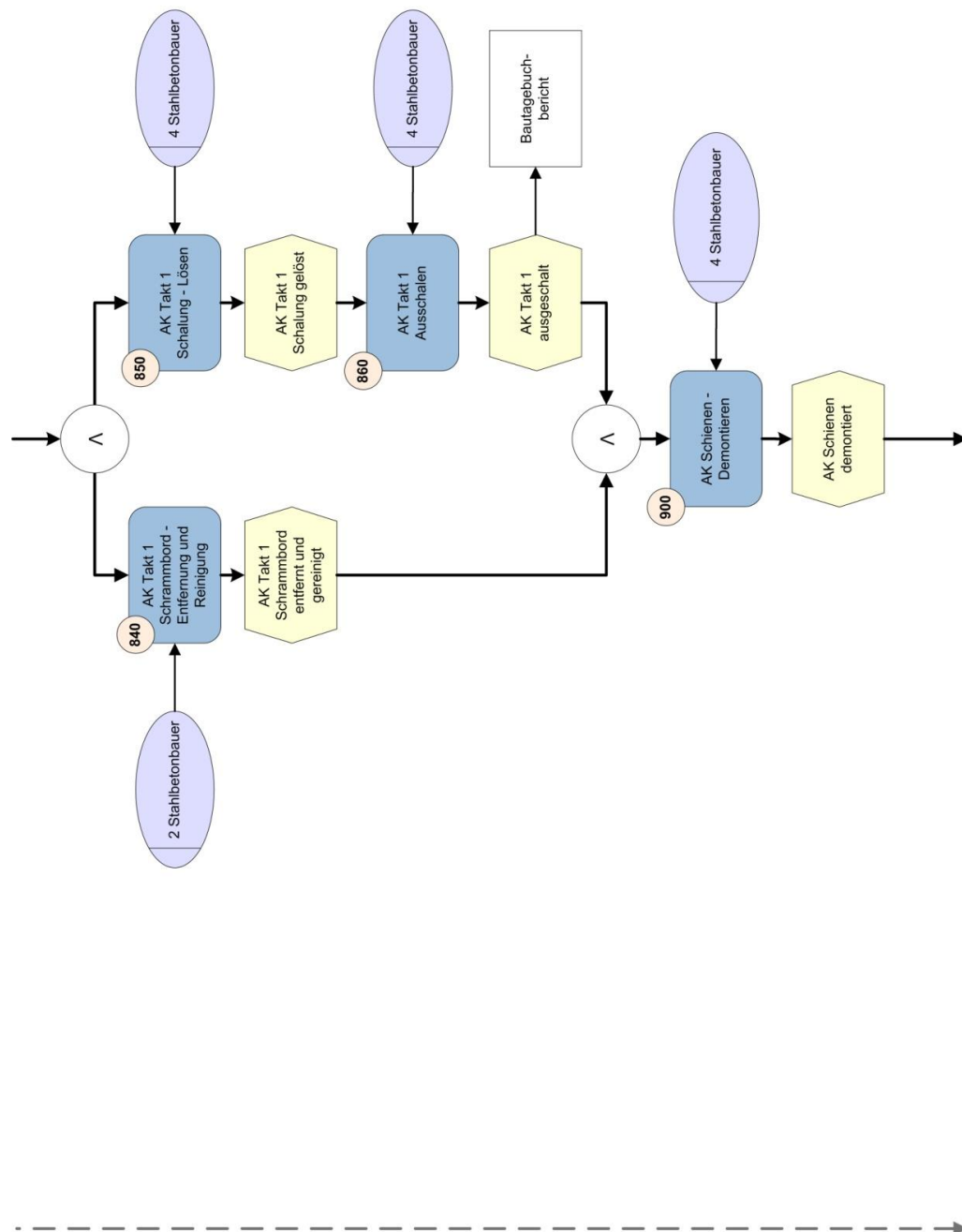


Abbildung 160: EPK Brückenkappe Teil 19

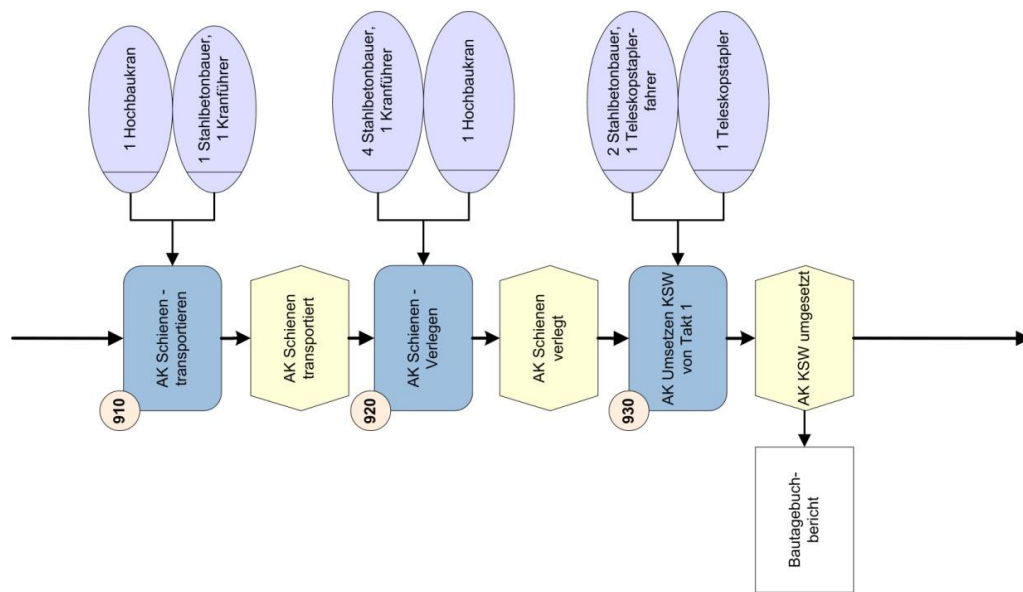


Abbildung 161: EPK Brückenkappe Teil 20

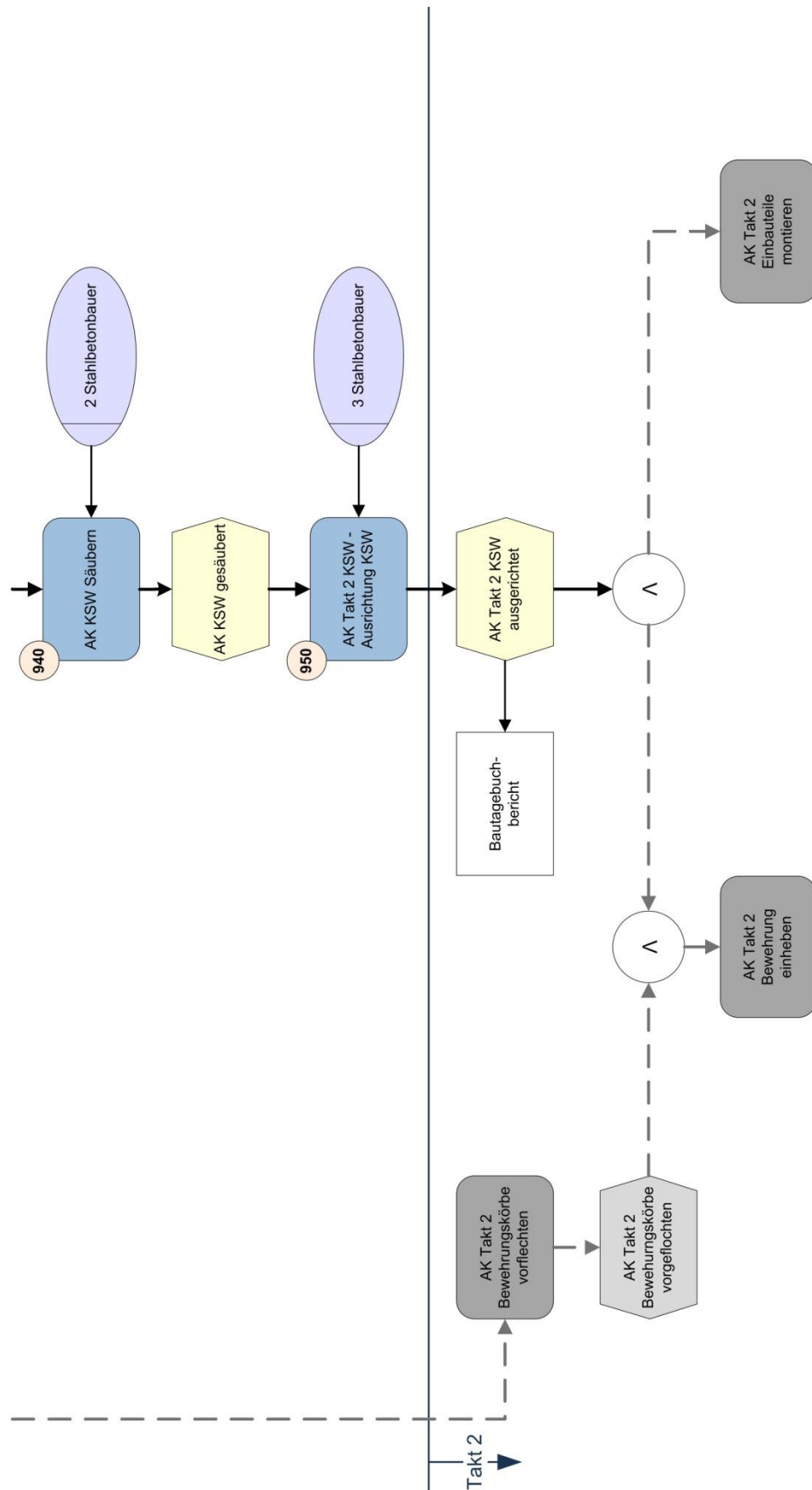


Abbildung 162: EPK Brückenkappe Teil 21

Anhang 3 - Prozessübersicht

Bezug	Nr. Vorgang / Ereignis	Inhalt	Teilprozess	Gesamtdauer TP	Leistung pro Tag	Dokument	Hauptprozess	
		Überbau einschließlich Anschlussbewehrung hergestellt					HP 0	
Gesamte Überbaufläche	Vermessungsarbeiten							
	A ₁₀	Kappen - Absteckung	TP	1AT			HP 1	
	E ₁₀	Kappen abgesteckt	10					
	A ₂₀	Rohbau-Ist-Höhen - Aufnahme	TP	1AT				
	E ₂₀	Rohbau-Ist-Höhen aufgenommen	20			Vermessungsprotokoll		
	A ₃₀	Betondeckung - Aufnahme/Überprüfung	TP	1h			HP 3	
	E ₃₀	Betondeckung aufgenommen/überprüft	30			Protokoll		
	Planung Ersatzgradienten (externer Prozess)							HP 4
	A ₄₀	Ersatzgradienten - Planung → Übergabe Daten (A ₂₀ und A ₃₀) an Planer	TP	10AT				
	E ₄₀	Ersatzgradienten geplant	40			Pläne		
Gesamtflächen IK + AK	Herstellung Ersatzgradienten							HP 5
	A ₅₀	Ersatzgradienten - Auswertung Höhendifferenzen Ist - Soll	TP	4h				
	E ₅₀	Ersatzgradienten - Soll-Lage hergestellt	50					
	Kugelstrahlen des Untergrundes							HP 6
	A ₆₀	Untergrund kugelstrahlen	TP	24h	8 Takte/Tag			
	E ₆₀	Untergrund kugelgestrahlt	60		Teilung in Tagesleistung nötig			
	Säuberung des Untergrundes vor Grundierung							HP 7
	A ₇₀	Kappenbereiche säubern	TP	2h				
	E ₇₀	Kappenbereiche gesäubert	70					
	Prüfung des Untergrundes vor Grundierung							HP 8
A ₈₀	Abreißfestigkeit Untergrund (AK und IK) bestimmen	TP	2h					
A _{80,1}	Löcher vorbohren	80						
E _{80,1}	Löcher gebohrt							
A _{80,2}	Kleber mischen							

Bezug	Nr. Vorgang / Ereignis	Inhalt	Teilprozess	Gesamtdauer TP	Leistung pro Tag		Dokument	Hauptprozess	
	E _{80.2}	Kleber gemischt							
	A _{80.3}	Bohrlöcher reinigen							
	E _{80.3}	Bohrlöcher gereinigt							
	A _{80.4}	Stempel aufsetzen							
	E _{80.4}	Stempel aufgesetzt							
	A _{80.5}	Kleber aushärten lassen							
	E _{80.5}	Kleber ausgehärtet							
	A _{80.6}	Haftzuggerät anstecken							
	E _{80.6}	Haftzuggerät angesteckt							
	A _{80.7}	Haftzugversuch							
	E _{80.7}	Haftzugversuch durchgeführt							
	A _{80.8}	Protokoll erstellen							
	E _{80.8}	Protokoll erstellt							
	E ₈₀	Abreißfestigkeit Untergrund bestimmt →Vorgabewerte erreicht					Protokoll Abreißfestigkeit		
Gesamtfläche AK	Rautiefe prüfen								
	A ₉₀	Rautiefe Untergrund (AK und IK) bestimmen	TP 90	0,5h					
	A _{90.1}	Sand auftragen							
	E _{90.1}	Sand aufgetragen							
	A _{90.2}	Ergebnismessung							
	E _{90.2}	Ergebnis gemessen							
	E ₉₀	Rautiefe Untergrund bestimmt → Vorgabewerte erreicht				Protokoll Rautiefe			
	Grundierung auftragen AK								HP 40
	A ₄₀₀	AK Material für Grundierung transportieren	TP 400	0,5h		Lieferschein			
	E ₄₀₀	AK Material für Grundierung transportiert							
	A ₄₀₅	AK Grundierung herstellen	TP 405	3h					
	A _{405.1}	AK Grundierung anrühren							
	E _{405.1}	AK Grundierung angerührt							
	A _{405.2}	AK Grundierung auftragen							
E _{405.2}	AK Grundierung aufgetragen								
A _{405.3}	AK Grundierung verteilen								
E _{405.3}	AK Grundierung verteilt								
A _{405.4}	AK Grundierung ausrollen								
E _{405.4}	AK Grundierung ausgerollt								
A _{405.5}	AK Grundierung einwirken								
E _{405.5}	AK Grundierung eingewirkt								
E ₄₀₅	AK Grundierung hergestellt								
A ₄₀₆	AK mit Quarzsand abstreuen	TP 406	1,5h						
E ₄₀₆	AK mit Quarzsand abgestreut								
A ₄₀₇	AK Grundierung aushärten	TP 407	24h bei 23°C / 72h bei 8°C						
E ₄₀₇	AK Grundierung ausgehärtet			Erfassung Temp. nötig. Teilung nicht nötig, da					

Bezug	Nr. Vorgang / Ereignis	Inhalt	Teilprozess	Gesamtdauer TP	Leistung pro Tag	Dokument	Hauptprozess	
Gesamtfläche AK					TP nicht unterbrochen werden kann.			
	A ₄₀₈	AK überschüssiger Quarzsand beseitigen	TP 408	1h				
	E ₄₀₈	AK überschüssiger Quarzsand beseitigt → Oberflächen bereit für Versiegelung						
	Versiegelung auftragen AK							
	A ₄₁₀	AK Material für Versiegelung transportieren	TP 410	0,5h		Lieferschein		
	E ₄₁₀	AK Material für Versiegelung transportiert						
	A ₄₁₅	AK Versiegelung herstellen	TP 415	2,5h				
	A _{415,1}	AK Versiegelung mischen						
	E _{415,1}	AK Versiegelung gemischt						
	A _{415,2}	AK Versiegelung auftragen						
	E _{415,2}	AK Versiegelung aufgetragen						
	A _{415,3}	AK Versiegelung verteilen						
	E _{415,3}	AK Versiegelung verteilt						
	A _{415,4}	AK Versiegelung ausrollen						
	E _{415,4}	AK Versiegelung ausgerollt						
	E ₄₁₅	AK Versiegelung hergestellt						
	A ₄₁₆	AK Versiegelung aushärten	TP 416	24h bei 23°C / 72h bei 8°C				
	E ₄₁₆	AK Versiegelung ausgehärtet			Erfassung Temp. nötig. Teilung nicht nötig, da TP nicht unterbrochen werden kann.			
	Versiegelung - Bestimmung Abreißfestigkeit AK							
	A ₄₂₀	AK Abreißfestigkeit Versiegelung bestimmen	TP 420	1h				
	A _{420,1}	AK Versiegelung Löcher vorbohren						
	E _{420,1}	AK Versiegelung Löcher gebohrt						
	A _{420,2}	AK Versiegelung Kleber mischen						
	E _{420,2}	AK Versiegelung Kleber gemischt						
	A _{420,3}	AK Versiegelung Bohrlöcher reinigen						
	E _{420,3}	AK Versiegelung Bohrlöcher gereinigt						
	A _{420,4}	AK Versiegelung Stempel aufsetzen						
	E _{420,4}	AK Versiegelung Stempel aufgesetzt						
	A _{420,5}	AK Versiegelung Kleber Aushärten lassen						
	E _{420,5}	AK Versiegelung Kleber						

Bezug Nr. Vorgang / Ereignis	Inhalt	Teilprozess	Gesamtdauer TP	Leistung pro Tag	Dokument	Hauptprozess
	ausgehärtet					
A _{420,6}	AK Versiegelung Haftzuggerät anstecken					
E _{420,6}	AK Versiegelung Haftzuggerät angesteckt					
A _{420,7}	AK Versiegelung Haftzugversuch					
E _{420,7}	AK Versiegelung Haftzugversuch durchgeführt					
A _{420,8}	AK Versiegelung Protokoll erstellen					
E _{420,8}	AK Versiegelung Protokoll erstellt					
E ₄₂₀	AK Abreißfestigkeit Versiegelung bestimmt → Vorgabewerte erreicht				Protokoll Abreißfestigkeit	
Bitumenschweißbahn verkleben						
A ₄₃₀	AK Bitumenschweißbahnen transportieren	TP 430	0,5h		Lieferschein	
E ₄₃₀	AK Bitumenschweißbahnen transportiert					
A ₄₃₅	AK Bitumenschweißbahn verkleben	TP 435	12h			
A _{435,1}	AK Bitumenschweißbahn verlegen					
E _{435,1}	AK Bitumenschweißbahn verlegt					
A _{435,2}	AK Schweißwagen anschließen					
E _{435,2}	AK Schweißwagen angeschlossen					
A _{435,3}	AK Bitumenschweißbahn verschweißen					
E _{435,3}	AK Bitumenschweißbahn verschweißt					
E ₄₃₅	AK Bitumenschweißbahn verklebt			Teilung in Tagesleistung nötig		
Rasselprobe						
A ₄₄₀	AK Rasselprobe Bitumenschweißbahn durchführen	TP 440	0,5h			
E ₄₄₀	AK Rasselprobe Bitumenschweißbahn durchgeführt → keine Hohlstellen				Protokoll Rasselprobe	
Einbau edelstahlkaschierte Schweißbahn						
A ₄₅₀	AK edelstahlkaschierte Schweißbahnen transportieren	TP 450	0,5h		Lieferschein	
E ₄₅₀	AK edelstahlkaschierte Schweißbahnen transportiert					
A ₄₅₅	AK edelstahlkaschierte Schweißbahn verkleben	TP 455	4h			
A _{455,1}	AK edelstahlkaschierte Schweißbahn verlegen					

Bezug	Nr. Vorgang / Ereignis	Inhalt	Teilprozess	Gesamtdauer TP	Leistung pro Tag	Dokument	Hauptprozess	
Innenkappe	E _{455,1}	AK edelstahlkaschierte Schweißbahn verlegt					HP 50	
	A _{455,2}	AK edelstahlkaschierte Schweißbahn verschweißen						
	E _{455,2}	AK edelstahlkaschierte Schweißbahn verschweißt						
	E ₄₅₅	AK edelstahlkaschierte Schweißbahn verklebt						
	Einbau Schutzlage							
	A ₄₆₀	AK Schutzlage transportieren	TP 460	0,5h		Lieferschein		
	E ₄₆₀	AK Schutzlage transportiert	460					
	A ₄₆₅	AK Schutzlage verkleben	TP 465	12h				
	A _{465,1}	AK Schutzlage auslegen	465					
	E _{465,1}	AK Schutzlage ausgelegt						
	A _{465,2}	AK Schutzlage Bitumen erhitzen						
	E _{465,2}	AK Schutzlage Bitumen erhitzt						
	A _{465,3}	AK Schutzlage verschweißen						
	E _{465,3}	AK Schutzlage verschweißt						
	E ₄₆₅	AK Schutzlage verklebt			Teilung in Tagesleistung nötig			
	Grundierung auftragen IK							
	A ₅₀₀	IK Material für Grundierung transportieren	TP 500	0,5h		Lieferschein		
	E ₅₀₀	IK Material für Grundierung transportiert	505					
	A ₅₀₅	IK Grundierung herstellen		3h				
	A _{505,1}	IK Grundierung anrühren						
	E _{505,1}	IK Grundierung angerührt						
	A _{505,2}	IK Grundierung auftragen						
	E _{505,2}	IK Grundierung aufgetragen						
	A _{505,3}	IK Grundierung verteilen						
	E _{505,3}	IK Grundierung verteilt						
A _{505,4}	IK Grundierung ausrollen							
E _{505,4}	IK Grundierung ausgerollt							
A _{505,5}	IK Grundierung - Einwirken	506						
E _{505,5}	IK Grundierung eingewirkt							
E ₅₀₅	IK Grundierung hergestellt							
A ₅₀₆	IK mit Quarzsand abstreuen	TP 506	1,5h					
E ₅₀₆	IK mit Quarzsand abgestreut	506						
A ₅₀₇	IK Grundierung aushärten	TP 507	24h bei 23°C / 72h bei 8°C					
E ₅₀₇	IK Grundierung ausgehärtet			Erfassung Temp. nötig. Teilung nicht nötig, da TP nicht unterbrochen werden kann.				

Bezug	Nr. Vorgang / Ereignis	Inhalt	Teilprozess	Gesamtdauer TP	Leistung pro Tag	Dokument	Hauptprozess
Innenkappe	A ₅₀₈	IK überschüssiger Quarzsand beseitigen	TP 508	1h			
	E ₅₀₈	IK überschüssiger Quarzsand beseitigt → Oberflächen bereit für Versiegelung					
	Versiegelung auftragen IK						
	A ₅₁₀	IK Material für Versiegelung transportieren	TP 510	0,5h		Lieferschein	
	E ₅₁₀	IK Material für Versiegelung transportiert					
	A ₅₁₅	IK Versiegelung herstellen	TP 515	2,5h			
	A _{515,1}	IK Versiegelung mischen					
	E _{515,1}	IK Versiegelung gemischt					
	A _{515,2}	IK Versiegelung auftragen					
	E _{515,2}	IK Versiegelung aufgetragen					
	A _{515,3}	IK Versiegelung verteilen					
	E _{515,3}	IK Versiegelung verteilt					
	A _{515,4}	IK Versiegelung ausrollen					
	E _{515,4}	IK Versiegelung ausgerollt					
	E ₅₁₅	IK Versiegelung hergestellt					
	A ₅₁₆	IK Versiegelung aushärten	TP 516	24h bei 23°C / 72h bei 8°C			
	E ₅₁₆	IK Versiegelung ausgehärtet			Erfassung Temp. nötig. Teilung nicht nötig, da TP nicht unterbrochen werden kann.		
	Versiegelung - Bestimmung Abreißfestigkeit AK						
	A ₅₂₀	IK Abreißfestigkeit Versiegelung bestimmen	TP 520	1h			
	A _{520,1}	IK Versiegelung Löcher vorbohren					
	E _{520,1}	IK Versiegelung Löcher gebohrt					
A _{520,2}	IK Versiegelung Kleber mischen						
E _{520,2}	IK Versiegelung Kleber gemischt						
A _{520,3}	IK Versiegelung Bohrlöcher reinigen						
E _{520,3}	IK Versiegelung Bohrlöcher gereinigt						
A _{520,4}	IK Versiegelung Stempel aufsetzen						
E _{520,4}	IK Versiegelung Stempel aufgesetzt						
A _{520,5}	IK Versiegelung Kleber Aushärten lassen						
E _{520,5}	IK Versiegelung Kleber ausgehärtet						
A _{520,6}	IK Versiegelung Haftzuggerät anstecken						
E _{520,6}	IK Versiegelung Haftzuggerät						

Bezug	Nr. Vorgang / Ereignis	Inhalt	Teilprozess	Gesamtdauer TP	Leistung pro Tag	Dokument	Hauptprozess
		angesteckt					
	A _{520,7}	IK Versiegelung Haftzugversuch					
	E _{520,7}	IK Versiegelung Haftzugversuch durchgeführt					
	A _{520,8}	IK Versiegelung Protokoll erstellen					
	E _{520,8}	IK Versiegelung Protokoll erstellt					
	E ₅₂₀	IK Abreißfestigkeit Versiegelung bestimmt → Vorgabewerte erreicht				Protokoll Abreißfestigkeit	
Bitumenschweißbahn verkleben							
	A ₅₃₀	IK Bitumenschweißbahnen transportieren	TP 530	0,5h		Lieferschein	
	E ₅₃₀	IK Bitumenschweißbahnen transportiert					
	A ₅₃₅	IK Bitumenschweißbahn verkleben	TP 535	12h			
	A _{535,1}	IK Bitumenschweißbahn verlegen					
	E _{535,1}	IK Bitumenschweißbahn verlegt					
	A _{535,2}	IK Schweißwagen anschließen					
	E _{535,2}	IK Schweißwagen angeschlossen					
	A _{535,3}	IK Bitumenschweißbahn verschweißen					
	E _{535,3}	IK Bitumenschweißbahn verschweißt					
	E ₅₃₅	IK Bitumenschweißbahn verklebt			Teilung in Tagesleistung nötig		
Rasselprobe							
	A ₅₄₀	IK Rasselprobe Bitumenschweißbahn durchführen	TP 540	0,5h			
	E ₅₄₀	IK Rasselprobe Bitumenschweißbahn durchführen → keine Hohlstellen				Protokoll Rasselprobe	
Einbau edelstahlkaschierte Schweißbahn							
	A ₅₅₀	IK edelstahlkaschierte Schweißbahnen transportieren	TP 550	0,5h		Lieferschein	
	E ₅₅₀	IK edelstahlkaschierte Schweißbahnen transportiert					
	A ₅₅₅	IK edelstahlkaschierte Schweißbahn verkleben	TP 555	4h			
	A _{555,1}	IK edelstahlkaschierte Schweißbahn verlegen					
	E _{555,1}	IK edelstahlkaschierte Schweißbahn verlegt					
	A _{555,2}	IK edelstahlkaschierte Schweißbahn verschweißen					
	E _{555,2}	IK edelstahlkaschierte Schweißbahn verschweißt					
	E ₅₅₅	IK edelstahlkaschierte Schweißbahn					

Bezug	Nr. Vorgang / Ereignis	Inhalt	Teilprozess	Gesamtdauer TP	Leistung pro Tag	Dokument	Hauptprozess		
Gesamtflächen IK + AK		verklebt					HP 60		
	Einbau Schutzlage								
	A ₅₆₀	IK Schutzlage transportieren	TP	0,5h		Lieferschein			
	E ₅₆₀	IK Schutzlage transportiert	560						
	A ₅₆₅	IK Schutzlage verkleben	TP	12h					
	A _{565,1}	IK Schutzlage auslegen	565						
	E _{565,1}	IK Schutzlage ausgelegt							
	A _{565,2}	IK Schutzlage Bitumen erhitzen							
	E _{565,2}	IK Schutzlage Bitumen erhitzt							
	A _{565,3}	IK Schutzlage verschweißen							
	E _{565,3}	IK Schutzlage verschweißt							
	E ₅₆₅	IK Schutzlage verklebt			Teilung in Tagesleistung nötig				
	Vorbereitung Fertigung Bewehrungskörbe							HP 61	
	A ₆₀₀	Fertigungsböcke - Montage	TP	4h					
	E ₆₀₀	Fertigungsböcke montiert	600						
Bewehrung transportieren							HP 62		
A ₆₁₀	Bewehrung zum Fertigungsbock transportieren	TP	0,5h		Lieferschein				
E ₆₁₀	Bewehrung zum Fertigungsbock transportiert	610							
Vorbereitung Schrammborde							HP 20		
A ₆₂₀	Schrammbordteile auf Überbau transportieren	TP	0,5h		Lieferschein				
E ₆₂₀	Schrammbordteile auf Überbau transportiert	620							
A ₆₂₅	Schrammborde vormontieren und säubern	TP	6h						
E ₆₂₅	Schrammborde vormontiert und gesäubert	625							
A ₆₃₀	Schrammborde ölen	TP	3h						
E ₆₃₀	Schrammborde geölt	630							
Taktfläche 1 AK	Montage Kappenschalwagen Außenkappe								
	A ₂₀₀	AK Takt 1 Schienen transportieren	TP	0,5h		Lieferschein			
	E ₂₀₀	AK Takt 1 Schienen transportiert	200						
	A ₂₀₅	AK Takt 1 Schienen vormontieren	TP	2h					
	E ₂₀₅	AK Takt 1 Schienen montiert							
	A ₂₁₀	AK Takt 1 Schienen - verlegen	TP	4h					

Bezug	Nr. Vorgang / Ereignis	Inhalt	Teilprozess	Gesamtdauer TP	Leistung pro Tag	Dokument	Hauptprozess
Gesamtfläche AK			210				HP 22
	E ₂₁₀	AK Takt 1 Schienen verlegt					
	A ₂₂₀	AK Unterwagen - transportieren	TP 220	0,5h		Lieferschein	
	E ₂₂₀	AK Unterwagen transportiert	220				
	A ₂₂₅	AK Unterwagen - aufstellen	TP 225	2,5h			
	E ₂₂₅	AK Unterwagen aufgestellt	225				
	A ₂₃₀	AK Unterwagenballast - transportieren	TP 230	0,5h		Lieferschein	
	E ₂₃₀	AK Unterwagenballast transportiert					
	A ₂₃₅	AK Unterwagen - Ballast	TP 235	1AT			
	E ₂₃₅	AK Unterwagen ballastiert	235				
	A ₂₄₀	AK KSW-Ausleger - transportieren	TP 240	0,5h		Lieferschein	
	E ₂₄₀	AK KSW-Ausleger transportiert	240				
	A ₂₄₅	AK KSW-Ausleger vormontieren	TP 245	4AT	Teilung in Tagesleistung nötig		
	E ₂₄₅	AK KSW-Ausleger vormontiert					
	A ₂₅₀	AK Ausleger an Unterwagen - Montage	TP 250	1AT			
	A _{250,1}	AK Ausleger einheben					
	E _{250,1}	AK Ausleger eingehoben					
	A _{250,2}	AK Ausleger befestigen					
	E _{250,2}	AK Ausleger befestigt					
	E ₂₅₀	AK Ausleger an Unterwagen montiert					
	A ₂₆₀	AK Hängereinheiten - transportieren	TP 260	0,5h		Lieferschein	
	E ₂₆₀	AK Hängereinheiten transportiert	260				
	A ₂₆₅	AK Hängereinheiten vormontieren	TP 265	6AT	Teilung in Tagesleistung nötig		
	E ₂₆₅	AK Hängereinheiten vormontiert					
	A ₂₇₀	AK Hängereinheiten an KSW - Montage	TP 270	4h			
E ₂₇₀	AK Hängereinheiten an KWS montiert						
Montage Kappenschalwagen Innenkappe							
Taktfläche 1 IK	A ₃₀₀	IK Takt 1 Schienen - transportieren	TP 300	0,5h		Lieferschein	HP 30
	E ₃₀₀	IK Takt 1 Schienen transportiert					
	A ₃₀₅	IK Takt 1 Schienen vormontieren	TP 305	2h			
	E ₃₀₅	IK Takt 1 Schienen montiert					
	A ₃₁₀	IK Takt 1 Schienen - verlegen	TP 310	4h			
	E ₃₁₀	IK Takt 1 Schienen verlegt					
Gesamtfläche IK	A ₃₂₀	IK Unterwagen - transportieren	TP 320	0,5h		Lieferschein	HP 32
	E ₃₂₀	IK Unterwagen transportiert					
	A ₃₂₅	IK Unterwagen - aufstellen	TP 325	2,5h			
	E ₃₂₅	IK Unterwagen aufgestellt					

Bezug	Nr. Vorgang / Ereignis	Inhalt	Teilprozess	Gesamtdauer TP	Leistung pro Tag	Dokument	Hauptprozess
	A ₃₃₀	IK Unterwagenballast - transportieren	TP 330	0,5h		Lieferschein	
	E ₃₃₀	IK Unterwagen - Ballast transportiert					
	A ₃₃₅	IK Unterwagen - Ballast	TP 335	1AT			
	E ₃₃₅	IK Unterwagen ballastiert					
	A ₃₄₀	IK KSW-Ausleger - transportieren	TP 340	0,5h		Lieferschein	
	E ₃₄₀	IK KSW-Ausleger transportiert					
	A ₃₄₅	IK KSW-Ausleger vormontieren	TP 345	4AT	Teilung in Tagesleistung nötig		
	E ₃₄₅	IK KSW-Ausleger vormontiert					
	A ₃₅₀	IK Ausleger an Unterwagen - Montage	TP 350	1AT			
	A _{350,1}	IK Ausleger einheben					
	E _{350,1}	IK Ausleger eingehoben					
	A _{350,3}	IK Ausleger befestigen					
	E _{350,3}	IK Ausleger befestigt					
	E ₃₅₀	IK Ausleger an Unterwagen montiert					
	A ₃₆₀	IK Hängeeinheiten - transportieren	TP 360	0,5h		Lieferschein	
	E ₃₆₀	IK Hängeeinheiten transportiert					
	A ₃₆₅	IK Hängeeinheiten vormontieren	TP 365	6 AT	Teilung in Tagesleistung nötig		
	E ₃₆₅	IK Hängeeinheiten vormontiert					
	A ₃₇₀	IK Hängeeinheiten an KSW - Montage	TP 370	4h			
	E ₃₇₀	IK Hängeeinheiten an KWS montiert					
Taktfläche 1 AK	Einrichten Kappenschalwagen (AK: Takt 1)						HP 70
	A ₇₀₀	AK Takt 1 KSW - Ausrichtung KSW	TP 700	2AT			
	E ₇₀₀	AK Takt 1 KSW ausgerichtet			Teilung in Tagesleistung nötig		
	Bewehrung vorflechten (AK: Takt 1)						HP 61
	A ₆₁₅	AK Takt 1 Bewehrungskörbe vorflechten	TP 615	14h	2h/Korb (1 Korb = 6m)		
	E ₆₁₅	AK Takt 1 Bewehrungskörbe vorgeflochten			Teilung in Tagesleistung nötig		
	Bewehren & Einbauteile (AK: Takt 1)						HP 71
	A ₇₁₀	AK Takt 1 Bewehrung - einheben und positionieren	TP 710	1h			
	E ₇₁₀	AK Takt 1 Bewehrung eingehoben und positioniert					
	A ₇₂₀	AK Takt 1 Bewehrung - einbauen	TP	10h			

Bezug	Nr. Vorgang / Ereignis	Inhalt	Teilprozess	Gesamtdauer TP	Leistung pro Tag	Dokument	Hauptprozess
	E ₇₂₀	AK Takt 1 Bewehrung eingebaut	720		Teilung in Tagesleistung nötig	Bautagebuch-bericht	
	A ₇₃₀	AK Takt 1 Einbauteile - Montage	TP	5h		Lieferschein	
	E ₇₃₀	AK Takt 1 Einbauteile montiert	730			Bautagebuch-bericht	
	A ₇₄₀	AK Takt 1 Bewehrung - Abnahme	TP	0,5			
	E ₇₄₀	AK Takt 1 Bewehrung abgenommen → Freigabe Bewehrung	740			Protokoll	
	A ₇₄₅	AK Takt 1 Schalungselemente transportieren	TP			Lieferschein	
	E ₇₄₅	AK Takt 1 Schalungselemente transportiert	745				
	A ₇₅₀	AK Takt 1 zuschalen	TP	2h			
	E ₇₅₀	AK Takt 1 zugeschalt	750				
	A ₇₆₀	AK Takt 1 Schrammbord - Montage	TP	2h			
	E ₇₆₀	AK Takt 1 Schrammbord montiert	760			Bautagebuch-bericht	
Taktfläche 1 AK	Betonage (AK: Takt 1)						HP 80
	A ₈₀₀	AK Takt 1 Beton - Bestellung	TP	0,5h			
	E ₈₀₀	AK Takt 1 Beton bestellt	800				
	A ₈₁₀	AK Takt 1 Betonpumpe aufbauen	TP	0,5h			
	E ₈₁₀	AK Takt 1 Betonpumpe aufgebaut	810				
	A ₈₂₀	AK Takt 1 Beton - Lieferung	TP	0,5h		Lieferschein Beton	
	E ₈₂₀	AK Takt 1 Beton angeliefert	820				
	A ₈₂₅	AK Takt 1 Beton - Prüfen	TP	0,5h			
	E ₈₂₅	AK Takt 1 Beton geprüft → Freigabe Beton	825			Protokoll Frisch-/Fest-betonprüfung	
	A ₈₃₀	AK Takt 1 betonieren	TP	4h		Bautagebuch-bericht	
	E ₈₃₀	AK Takt 1 betoniert	830			Leistungs-nachweis Betonpumpe	
	A ₈₃₅	AK Takt 1 Beton - Nachbehandlung/Einhaltung Ausschallfrist	TP	1,5h (+ Nacht)			HP 84
	E ₈₃₅	AK Takt 1 Beton - Nachbehandlung/Ausschallfrist abgeschlossen	835				
	A ₈₄₀	AK Takt 1 Schrammbord - Entfernung und Reinigung	TP	4h			HP 84
	E ₈₄₀	AK Takt 1 Schrammbord entfernt und gereinigt	840				

Bezug	Nr. Vorgang / Ereignis	Inhalt	Teilprozess	Gesamtdauer TP	Leistung pro Tag	Dokument	Hauptprozess
	A ₈₅₀	AK Takt 1 Schalung - Lösen	TP	2h			
	E ₈₅₀	AK Takt 1 Schalung gelöst	850				
	A ₈₆₀	AK Takt 1 ausschalen	TP	2h			
	E ₈₆₀	AK Takt 1 ausgeschalt	860			Bautagebuch-bericht	
Taktfläche 2 AK	AK Takt 2 Umsetzen & Einrichten Kappenschälwagen						HP 90
	A ₉₀₀	AK Takt 2 Schienen - demontieren	TP	2h			
	E ₉₀₀	AK Takt 2 Schienen demontiert	900				
	A ₉₁₀	AK Takt 2 Schienen - transportieren	TP	1h			
	E ₉₁₀	AK Takt 2 Schienen transportiert	910				
	A ₉₂₀	AK Takt 2 Schienen - verlegen	TP	4h			
	E ₉₂₀	AK Takt 2 Schienen verlegt	920				
	A ₉₃₀	AK Takt 2 Umsetzen KSW von Takt 1	TP	2h			
	A _{930,1}	AK Takt 2 KSW absenken	930				
	E _{930,1}	AK Takt 2 KSW abgesenkt					
	A _{930,2}	AK Takt 2 KSW verschieben					
	E _{930,2}	AK Takt 2 KSW verschoben					
	E ₉₃₀	AK Takt 2 KSW umgesetzt				Bautagebuch-bericht	
	A ₉₄₀	AK Takt 2 KSW säubern	TP	3h			
	E ₉₄₀	AK Takt 2 KSW gesäubert	940				
	AK Takt 2 Einrichten Kappenschälwagen						HP 95
	A ₉₅₀	AK Takt 2 KSW - Ausrichtung KSW	TP	2AT			
	E ₉₅₀	AK Takt 2 KSW ausgerichtet	950		Teilung in Tagesleistung nötig	Bautagebuch-bericht	

Anhang 4 - Formblätter ZTV-Ing

Äußere Bedingungen			Seite										
Baumaßnahme			Bauwerksnummer (ASB)										
Bauabschnitt			<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>										
Auftraggeber			Bauwerksname										
Auftragnehmer			oben										
			unten										
Datum/ Uhrzeit	Bauteil	1 Lufttemperatur 2 Taupunkttemperatur 3 Objekttemperatur 4 relative Luftfeuchte	Unterschrift des Auftragnehmers										
		1 °C											
		2 °C											
		3 °C											
		4 %											
		1 °C											
		2 °C											
		3 °C											
		4 %											
		1 °C											
		2 °C											
		3 °C											
		4 %											
		1 °C											
		2 °C											
		3 °C											
		4 %											
Bemerkungen													

Abbildung 163: Formblatt B 1.3.1 [10]

Abreifestigkeit					Seite										
Produkt / Systembezeichnung					Bauwerksnummer (ASB)										
					<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> </div>										
Baumaßnahme					Bauwerksname										
Bauabschnitt					oben										
					unten										
Herstellungsdatum der Schichten					Prüfungsdatum										
Zugeordnete Prüffläche			Angaben zum Prüfgerät			Geprüft wird									
			Geräte Typ-Nr.			Betonunterlage									
			Messbereich			vorbereitet <input type="checkbox"/>									
			Prfstempeldurchmesser mm			unvorbereitet <input type="checkbox"/>									
			Prfstempelflche mm ²			Betonersatzsystem <input type="checkbox"/>									
			Angaben zur Prüfung			Grundierung/Versiegelung/									
						Kratzpachtelung <input type="checkbox"/>									
			Bohrtiefe mm			Oberflchenschutzsystem <input type="checkbox"/>									
			Klebstoff			Dichtungsschicht <input type="checkbox"/>									
			Krafteinstiegsgeschwindigkeit [N/s]			Dnnbelag <input type="checkbox"/>									
			... <input type="checkbox"/> 20 <input type="checkbox"/> 100 <input type="checkbox"/>			Haftsicht <input type="checkbox"/>									
			50 <input type="checkbox"/> 300 <input type="checkbox"/>			Schweißbahn <input type="checkbox"/>									
						Dichtungssystem <input type="checkbox"/>									
						Korrosionsschutzsystem <input type="checkbox"/>									
Nr.	Temp. d. Schichten [°C]	Abreißkraft [N]	Abreißfestigkeit		Versagensart [% der Bruchfläche]										
			Einzelwert [N/mm ²]	Mittelwert [N/mm ²]	Kohsionsversagen						Adhsionsversagen				
					A	B	C	D	Y	Z	A/B	B/C	C/D	D/Y	Y/Z
Unterschriften											Bezeichnung der Schichten				
<div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div>..... Prüfer/ Firma</div> <div>..... Auftragnehmer</div> <div>..... Auftraggeber</div> </div>											A =				
											B =				
											C =				
											D =				
											Y = Kleber				
											Z = Stempel				

Abbildung 164: Formblatt B 1.3.2 [10]

<input type="checkbox"/> Kontrollprüfung <input type="checkbox"/> Eigenüberwachung		Rautiefe		Seite											
Baumaßnahme				Bauwerksnummer (ASB)											
Bauabschnitt				<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>											
Auftraggeber				Bauwerksname											
Auftragnehmer				oben											
				unten											
Datum	Bauteil/ zugeordnete Prüffläche	Einzelwerte der Rautiefe R_t [mm]	Mittlere Rautiefe R_{tm} [mm]	Unterschrift des Auftragnehmers											
		1													
		2													
		3													
		1													
		2													
		3													
		1													
		2													
		3													
		1													
		2													
		3													
		1													
		2													
		3													
Bemerkungen															

Abbildung 165: Formblatt B 1.3.3 [10]

Lfd. Nr.	Angaben auf dem Lieferschein	Auto-matischer Ausdruck	Vordruck bzw. handschriftlicher Eintrag
1	Name, Anschrift und Telefonnummer des Transportbetonwerkes		x
2	Lieferscheinnummer	x	
3	Datum und Uhrzeit des Beladens	x	
4	Kennzeichnung des Lieferfahrzeuges		x
5	Name des Käufers		x
6	Bezeichnung und Ort der Baustelle		x
7	Einzelheiten oder Verweise auf die Festlegung, z.B. Codenummer, Bestellnummer	x	x
8	Bauaufsichtliches Übereinstimmungszeichen unter Angabe von DIN EN 206-1, DIN 1045-2 und ZTV-ING		x
9	Name und Zeichen der Zertifizierungsstelle		x
10	Uhrzeit des Eintreffens des Betons auf der Baustelle		x
11	Uhrzeit des Beginns des Entladens		x
12	Uhrzeit des Beendens des Entladens		x
13	Betonfestigkeitsklasse und ggf. abweichendes Prüfalter (56 d)	x	
14	Expositionsklasse(n) und Feuchtigkeitsklasse	x	
15	Festigkeitsentwicklung	x	
16	Art der Verwendung des Betons (unbewehrter Beton, Stahlbeton, Spannbeton)	x	
17	Konsistenzklasse oder Zielwert der Konsistenz	x	
18	Herkunft, Art und Festigkeitsklasse des Zements	x	
19	Herkunft und Art der Zusatzmittel und Zusatzstoffe	x	x ¹⁾
20	Zusätzliche Anforderungen, z.B. verlängerte Verarbeitungszeit	x	
21	Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung	x	
22	Rohdichteklasse bei Leicht- oder Schwerbeton	x	
23	Einwaage je Kornfraktion	x	
24	Einwaage Zement	x	
25	Einwaage Zusatzstoff	x	
26	Einwaage Wasser (Zugabewasser + Eigenfeuchte)	x	
27	Einwaage Zusatzmittel	x	x ¹⁾
28	Gesamtmenge Beton im Fahrzeug	x	

Abbildung 166: Tabelle 3.1.2 „Angaben auf dem Lieferschein für Transportbeton“ [10]